



image capture: August 2018

© 2020 Google

Spain

Ctra. Vilassar de Dalt

Riera Cabrils, Catalonia

Universidad Politécnica de Cataluña
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE BARCELONA ETSAB

Máster de Estudios Avanzados en Arquitectura - Barcelona MArch
Línea. Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica

CIUDADES EN RIESGO DE INUNDACIÓN Y ALTERNATIVAS PARA ENFRENTARLAS

Alumna
Ana Paulina Tafur Socarrás
Arquitecta

Directora
Blanca Esmaragda Arellano Ramos

Abril 2020

ETSAB  Escola Tècnica Superior
d'Arquitectura de Barcelona

“La falsa humildad del charco.

*Todo charco es una señal de que algo ha bloqueado el agua y ha impedido
que atravesase el suelo. Así que, si un charco es persistente, lo primero que
podemos deducir es que el suelo o es impermeable o está saturado”.*

Tristan Gooley

ÍNDICE

RESUMEN

CIUDADES EN RIESGO DE INUNDACIÓN Y ALTERNATIVAS PARA ENFRENTARLAS	6
---	---

ILUSTRACIONES, GRÁFICOS Y TABLAS

LISTA DE ILUSTRACIONES	8
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE GRÁFICOS	11

ANTECEDENTES

CAMBIOS DEMOGRÁFICOS Y URBANÍSTICOS	12
CAMBIO CLIMÁTICO	15
CASO DE ESTUDIO	18

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21

MARCO TEÓRICO

INUNDACIONES PLUVIALES	22
CLIMA URBANO	28
CIUDADES RESILIENTES	30

ESTADO DEL ARTE

APLICACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS	32
------------------------------------	----

METODOLOGÍA

PARTE I REVISIÓN LITERARIA Y RECOPIACIÓN DE DATOS	53
PARTE II EL CASO DE ESTUDIO Y LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS	54
PARTE III RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	54

ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO

LAS RIADAS DEL MARESME	55
ÁMBITO DE ESTUDIO GRUPO: “RIERA CABRILS” Cabrils- Vilassar de Mar	59
RECOMENDACIONES DE TÉCNICAS BASADAS EN LA NATURALEZA EN SEGMENTOS DEL TRAMO 6 Y 8	92

CONCLUSIONES

	100
--	-----

ANEXOS

Anexo 1 Lista de características relevantes de las calificaciones de suelo alrededor de la riera de Cabrils	102
---	-----

BIBLIOGRAFÍA

	107
--	-----

RESUMEN

CIUDADES EN RIESGO DE INUNDACIÓN Y ALTERNATIVAS PARA ENFRENTARLAS

Tafur Socarrás, Ana Paulina

Correo electrónico: apautaso@gmail.com

Tutor / director / evaluador: Arellano Ramos, Blanca

Key words: Soluciones basadas en la naturaleza – inundación pluvial – cambio climático – Maresme – flash flood – Riadas – ciudades resilientes

El ciclo natural del agua se ha visto afectado a medida que el ser humano ha avanzado en la construcción de ciudades; enlazando lo que una vez fueron pequeñas comunidades a través de autopistas y vías ferroviarias, es decir, ha transformado el espacio natural en urbano. Simultáneamente a causa del crecimiento poblacional se ha creado la necesidad de suplir los servicios básicos de la población lo que influencia la excesiva extracción de agua y otros recursos naturales; en el caso del primero, esta inversión en el paisaje desnaturaliza la capa vegetal que es esencial para la captación del recurso durante la fase de infiltración y produce un desequilibrio en el ciclo hidrológico, que el ser humano intenta regular construyendo salidas de drenaje, encauzamientos, cunetas, entre otros. Sin embargo, estas medidas pierden eficiencia frente a la ocurrencia de fenómenos naturales que son en un inicio predecibles, pero que cada vez más varían en su comportamiento. Es así como las ciudades se han vuelto vulnerables al riesgo de inundación, debido a las variaciones en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones a causa del incremento de la temperatura en la tierra.

El objetivo de esta investigación, que se enmarca en el proyecto Urban-CLIMPLAN, es estudiar cómo afecta la baja permeabilidad de las ciudades en el ciclo del agua y las medidas de adaptación que se pueden abordar desde la perspectiva del calentamiento global; tomando como caso de estudio la riera de Cabrils que atraviesa los municipios de Vilassar de Mar y Cabrils en la comarca del Maresme. Esto se desarrollará en tres etapas: la primera, se hará una revisión literaria de las diferentes técnicas que conforman las metodologías conocidas como “Buenas Prácticas”, “Soluciones Basadas en la Naturaleza”, “Sustainable Urban Drainage System” entre otros, y así clasificarlas según el uso de vegetación, en paralelo se revisan los aspectos generales, climático, geográficos e hidrológicos de la comarca del Maresme de acuerdo a bases cartográficas de zonas inundables, DTM, mapa urbanístico, umbral de escorrentía y porcentaje de impermeabilidad del suelo de la comarca del Maresme a través de la Agencia Catalana del Agua, Copernicus Land Monitoring Services e Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. Seguido a ésto, la segunda etapa consiste en relacionar los datos y la cartografía de tal manera que permita conocer la morfología e inundabilidad alrededor de la riera de Cabrils y poder hacer una radiografía por tramos. Por último, detallar dos segmentos de los tramos para recomendar cómo emplear las técnicas basadas en la naturaleza para adaptar las ciudades a los cambios climáticos resaltando el beneficio extra que aporta la vegetación en relación con la calidad del clima urbano.



Riera de Sant Simó, Mataró 2019. Fotografía tomada por Ana Tafur

ILUSTRACIONES, GRÁFICOS Y TABLAS

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Precipitación anual para un futuro cercano (2011- 2040). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)	Pág. 16
Ilustración 2 Precipitación anual para un futuro medio (2041- 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)	Pág. 16
Ilustración 3 Precipitación anual para un futuro lejano (2071- 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)	Pág. 16
Ilustración 4 Precipitación máxima en 24h para un futuro cercano (2011- 2040). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)	Pág. 17
Ilustración 5 Precipitación máxima en 24h para un futuro medio (2041- 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)	Pág. 17
Ilustración 6 Precipitación máxima en 24h para un futuro lejano (2071- 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)	Pág. 17
Ilustración 7 Comarcas afectadas por inundaciones desde 1981 hasta 2010. Fuente: Llasat, Llasat&Botija, Gilabert & Marcos, XXX	Pág. 18
Ilustración 8 Delimitación de ámbito de estudio. Fuente: Elaboración propia	Pág. 20
Ilustración 9 Ilustración 9 Impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico del agua. Fuente: Reelaborado a partir de U.S. EPA, 2007	Pág. 27
Ilustración 10 Localización “Catchment D”. Fuente: Google maps	Pág. 35
Ilustración 11 Ubicación de drenes filtrantes. Fuente: Google maps	Pág. 36
Ilustración 12 Vista de drenes filtrantes. Fuente: Google street view	Pág. 36
Ilustración 13 Floating connection. The Harbin Cultural Center Wetland Park 2013. Fuente: Turenscape	Pág. 37
Ilustración 14 Plataformas elevadas sobre el humedal de Harbin. Fuente: Turenscape	Pág. 38
Ilustración 15 Cubierta vegetada en el Centro de Convenciones Jacob K. Javits, Manhattan, NY. Fuente: Félix Lipov shutterstock.com	Pág. 42
Ilustración 16 Techo verde Universidad de Génova y esquema de medición. Fuente: Fioretti, R. Palla, Lanza, L. G. Principi, P. 2010	Pág. 46
Ilustración 17 Techo verde en el Consejo Regional de Marche y sistema de medición. Fuente: Fioretti, R. Palla, Lanza, L. G. Principi, P. 2010	Pág. 47
Ilustración 18 Inundación por lluvias en un evento de 60 mm/ 1h en Bellemystraat, Amsterdam; Rojo: por encima de 1m de agua deprimida. Fuente: Amsterdam Rainproof	Pág. 49
Ilustración 19 Mapa de inundación de Groningenvs mapa de heat stress superpuesto al de inundación. Fuente: Amsterdam Rainproof	Pág. 49

Ilustración 20 Densidad por municipios de la comarca del Maresme. Fuente: Elaboración propia	Pág. 56
Ilustración 21 Partes de una riera típica (Riera de Cabrils). Fuente: Elaboración propia a partir de Riba 1997	Pág. 58
Ilustración 22 Carretera N-II inundada por desbordamiento de riera en Vilassar de Mar en octubre 2016. Fuente: El País	Pág. 59
Ilustración 23 Digital Terrain Model de la Comarca del Maresme. Fuente: Elaboración propia	Page. 60
Ilustración 24 Digital Terrain Model de Cabrils y Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia	Pág. 61
Ilustración 25 Conformación del suelo residencial. Fuente: Elaboración propia	Pág. 63
Ilustración 26 Conformación del suelo Mixto. Fuente: Elaboración propia	Pág. 65
Ilustración 27 Conformación del suelo Actividad Económica. Fuente: Elaboración propia	Pág. 66
Ilustración 28 Conformación del suelo Sistemas. Fuente: Elaboración propia	Pág. 68
Ilustración 29 Conformación del suelo No Urbanizable. Fuente: Elaboración propia	Pág. 71
Ilustración 30 Conformación del suelo grupo Cabrils- Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC	Pág. 73
Ilustración 31 Conformación e inundabilidad del suelo grupo Cabrils- Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC y ACA	Pág. 74
Ilustración 32 Recorrido riera Cabrils en los municipios de Cabrils y Vilassar de mar. Fuente: Elaboración propia	Page. 75
Ilustración 33 Zoom in Tramo 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia	Pág. 76
Ilustración 34 Registro fotográfico Tramo 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view	Pág. 77
Ilustración 35 Zoom in Tramo 4 y 5. Fuente: Elaboración propia	Pág. 78
Ilustración 36 Registro fotográfico Tramo 4 y 5. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view	Pág. 79
Ilustración 37 Zoom in Tramo 6. Fuente: Elaboración propia	Pág. 80
Ilustración 38 Registro fotográfico Tramo 6. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view	Pág. 81
Ilustración 39 Zoom in Tramo 7, 8 y 9. Fuente: Elaboración propia	Pág. 82
Ilustración 40 Registro fotográfico Tramo 7. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view	Pág. 83
Ilustración 41 Registro fotográfico Tramo 8 y 9. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view	Pág. 84
Ilustración 42 Mapa de % de impermeabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de Copernicus	Pág. 86
Ilustración 43 Mapa de umbral de escorrentía. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA	Pág. 87
Ilustración 44 Superposición de inundabilidad, % de impermeabilidad y umbral de escorrentía sobre los tramos 1-4. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA	Pág. 89
Ilustración 45 Superposición de inundabilidad, % de impermeabilidad y umbral de escorrentía sobre los tramos 5-6. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA	Pág. 90
Ilustración 46 Superposición de inundabilidad y % de impermeabilidad sobre los tramos 7-9. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA	Pág. 91
Ilustración 47 Superposición de inundabilidad y umbral de escorrentía sobre los tramos 5-6. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA	Pág. 92

Ilustración 48 Localización de segmento de estudio del Tramo 6, municipio de Cabrils. Fuente: Elaboración propia a partir de Google maps	Pág. 94
Ilustración 49 Localización de segmento de estudio del Tramo 8, municipio de Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia a partir de Google maps	Pág. 95
Ilustración 50 Propuesta de ubicación de técnicas de biorretención- franjas filtrantes vegetadas para los segmentos de estudio T_6 y T_8. Fuente: Elaboración propia a partir de Google maps	Pág. 98-99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Lista de ARPSI y TRI fluvial y marítimo del Maresme. Fuente: Elaboración propia a partir de Anexo 2 Evaluación Preliminar de Riesgo de Inundación 2018	Pág. 19
Tabla 2 Descripción tipos de inundación repentina en Cataluña. Fuente: Elaboración propia a partir de Llasat, Marcos, Gilabert & Llasat-Botija	Pág. 26
Tabla 3 Características de la isla de calor atmosférica y superficial. Fuente: EPA 2003	Pág. 30
Tabla 4 Clasificación de técnicas de acuerdo con el uso de vegetación. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía	Pág. 33
Tabla 5 Valoración técnica de Biorretención. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía	Pág. 39
Tabla 6 Representación gráfica de situaciones en la técnica de Biorretención. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía	Pág. 40-41
Tabla 7 Valoración de la técnica de Cubiertas verdes. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía	Pág. 43
Tabla 8 Representación gráfica de la técnica de Cubiertas verdes Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía	Pág. 44-45
Tabla 9 Registro de las tres ciudades estudiadas. Fuente: Elaboración propia a partir de T. Lin y J. Kluck 2017	Pág. 48
Tabla 10 Valoración de la técnica de Pavimentos permeables. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía	Pág. 50
Tabla 11 Representación gráfica de la técnica de Pavimentos permeables. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía	Pág. 52
Tabla 12 Aspectos generales del ámbito de estudio. Fuente: Idescat 2018	Pág. 55
Tabla 13 Conformación del suelo grupo Cabrils- Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019	Pág. 62
Tabla 14 Conformación del suelo Urbano: Suelo Residencial. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019	Pág. 64
Tabla 15 Conformación del suelo Urbano: Suelo Mixtos y otros. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019	Pág. 64
Tabla 16 Conformación del suelo Urbano: Suelo de Actividad Económica. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019	Pág. 67
Tabla 17 Conformación del suelo: Sistemas. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019	Pág. 69
Tabla 18 Conformación del suelo No Urbanizable. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019	Pág. 70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Clasificación de RFCs y el nivel de su impacto /riesgo debido al cambio climático. Fuente: Reporte especial IPCC 2018	Pág. 14
Gráfico 2 Impactos y riesgos para algunos sistemas naturales, administrados y humanos. Fuente: Reporte especial IPCC 2018	Pág. 14
Gráfico 3 Inundaciones a nivel municipal y daños acumulados en episodios relevantes por ARPSI. Fuente: APRI 2018 anexo 03	Pág. 20
Gráfica 4 Curva de Schumm & Langbein (1958) Variación de la pérdida de sedimentos en sistemas fluviales en función de la precipitación media anual. Fuente: Reelaboración a partir de Gutierrez Elorza 2001	Pág. 23
Gráfica 5 Relación entre la magnitud de la inundación con un período de retorno de 50 años y la precipitación media anual, para tres cuencas de drenaje de distintas superficies. Fuente: Reelaborado a partir de Knox 1972	Pág. 24
Gráfico 6 Relación existente entre parámetros que influyen el origen y desarrollo de las riadas. Fuente: Elaboración a partir de Gutierrez 1992	Pág. 25
Gráfica 7 Perfil de la Isla de Calor Urbano (UHI). Fuente: http://geography.name/urban-heat-island/	Pág. 28
Gráfica 8 Causas de la isla de calor urbano (UHI). Fuente: Elaboración a partir de Felipe Fernández 1996	Pág. 29
Gráfica 9 Componentes del riesgo. Fuente: Reelaboración a partir del INUNCAT	Pág. 31

ANTECEDENTES

CAMBIOS DEMOGRÁFICOS Y URBANÍSTICOS

El ciclo natural del agua se ha visto afectado a medida que el ser humano ha avanzado en la construcción de ciudades, puesto que las pequeñas comunidades dispersas con campos cultivados sobre el espacio han ido aproximando sus respectivas periferias enlazadas por autopistas y vías ferroviarias de forma que el espacio libre y natural es transformado; urbanizado, es decir, ha habido un crecimiento en la población: para el 2016, las ciudades acogían a 54% de la población mundial, y para la mitad de este siglo los datos incrementarán al 66% de acuerdo al World Cities Report 2016 de las Naciones Unidas (UN-HABITAT, 2016) quien destaca además que aunque sólo el 3% del planeta tierra está ocupado por ciudades, son las responsables de consumir entre el 60% y 80% de la energía y del 75% de las emisiones de carbono.

Para concatenar los hechos, los cambios demográficos influyen la excesiva extracción de los recursos naturales y la impermeabilización del territorio (asfaltado y urbanizado) que a su vez altera el proceso de la infiltración del ciclo hidrológico de la siguiente manera: después de llevarse a cabo la evaporación y condensación del agua, toma lugar la precipitación donde gotas de agua caen sobre la superficie de la tierra esperando a que estas sean infiltradas en el suelo, ya sea que se almacenen en depósitos naturales (ríos, lagos, océanos) o que se incorporen en aguas subterráneas. Al disminuir dentro de las ciudades las áreas permeables incrementa la escorrentía, es decir, su rápida circulación sobre la faz con el objetivo de encontrar dónde introducirse. Es así como las ciudades, se han vuelto vulnerables al riesgo de inundación, debido a la combinación entre las variaciones en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, a causa del incremento de la temperatura en la tierra y la falta de áreas permeables que faciliten la infiltración.

Este desequilibrio, el ser humano lo intenta regular construyendo salidas de drenaje, encauzamientos, cunetas, entre otros. Sin embargo, estas medidas pierden eficiencia frente a la ocurrencia de fenómenos naturales que son en un inicio predecibles, pero que, cada vez más varían en su comportamiento; volviendo estas soluciones insuficientes. Por otra parte, el hecho de no tratar las aguas residuales antes de verterlas en ríos, lagos y mares lleva a la contaminación de estos depósitos naturales que son fuente de provecho para los seres vivos.

Conscientes de la repercusión que tiene el aumento de la población para el planeta y para el buen uso de los recursos naturales limitados como el agua, el más reciente acuerdo que ha adoptado la Asamblea General de las Naciones Unidas para combatir este y otros problemas, es la Agenda 2030; que plantea 17 objetivos abarcando los ámbitos económico, social y ambiental para el desarrollo Sostenible. Al aceptarlos, cada Estado miembro tiene la obligación de fijarse metas nacionales apegándose a los objetivos, promoverlos e implementarlos.

De esta manera, en su objetivo 6 de desarrollo sostenible (ODS) está el “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Este ODS se fija seis metas de las cuales las dos siguientes enmarcan el problema discutido anteriormente:

6.3 De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y

materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de esta.

Por último, el objetivo 11 que busca ciudades y comunidades sostenibles, se plantea “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”. Este ODS se fija siete metas de las cuales dos abordan la problemática previa:

11.5 De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.

11.7b De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él, la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

Lo que demuestran estos ODS es que a nivel mundial es aceptada la idea de que el ser humano ha orquestado la subutilización de los recursos y eso desencadena no solamente contaminación y desigualdad de abastecimiento, sino desechos que contribuyen a un desequilibrio ambiental por lo que es necesario combatir el cambio climático y aumentar la resiliencia en las ciudades ante los desastres que éste conlleva.

Gráfico 1 Clasificación de RFCs y el nivel de su impacto /riesgo debido al cambio climático. Fuente: Reporte especial IPCC 2018

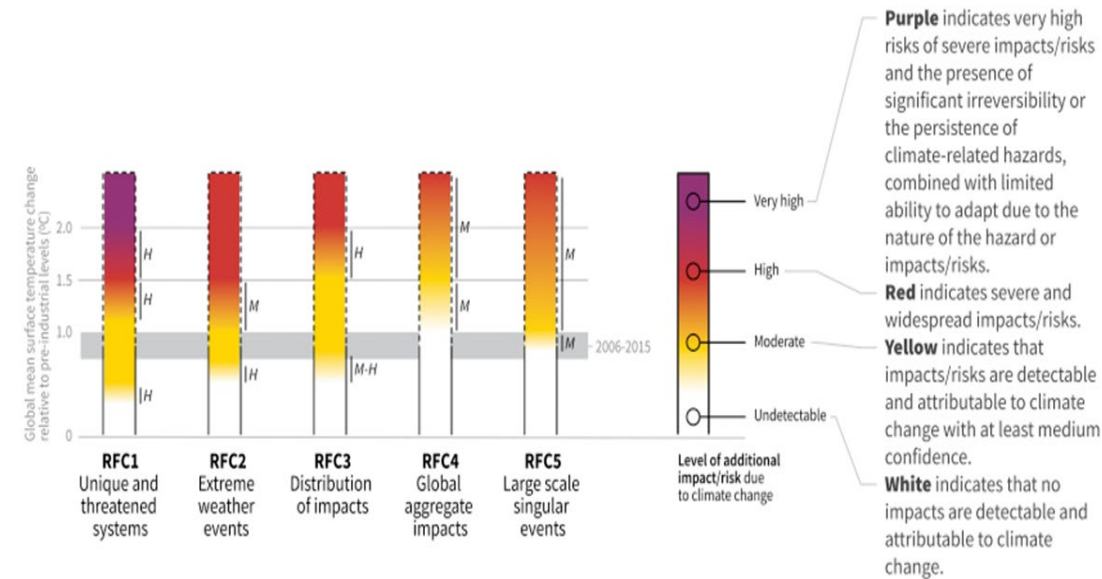
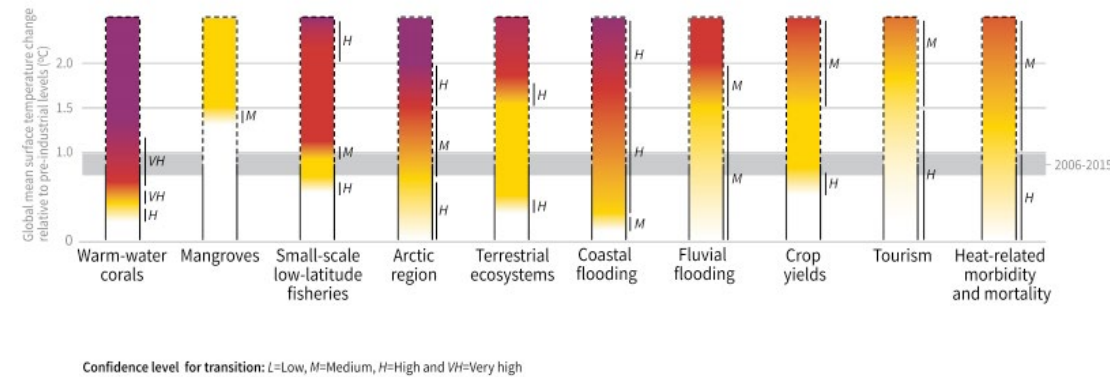


Gráfico 2 Impactos y riesgos para algunos sistemas naturales, administrados y humanos. Fuente: Reporte especial IPCC 2018



CAMBIO CLIMÁTICO

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su reporte especial de los impactos del calentamiento global, proyecta los riesgos que corren las ciudades con el hecho de aumentar 0.5°C, ya que pasan de la actual temperatura media a un incremento de 1.5°C y de ésta última a 2°C; (Masson-Delmotte et al., n.d.). Eventos como el aumento de la temperatura en la mayoría de la superficie y los océanos, oleadas de extremo calor en la mayoría de las regiones, precipitaciones torrenciales y la probabilidad de sequía y déficit de lluvias en ciertas regiones son los escenarios pronosticados.

En el gráfico 1, se explica como el IPCC a través de la clasificación del impacto o riesgo asociado al aumento de la temperatura, llamado Reasons for Concern (RFCs) o “Razones para Preocuparse”, evalúa cuán detectable, moderado, alto o muy alto es la repercusión en función de los grados de temperatura que aumente.

Esta clasificación consta de 5 razones:

- RFC1 Sistemas únicos y amenazados: Se trata de sistemas humanos y ecológicos geográficamente restringidos como los grupos indígenas del Ártico, las las barreras de coral, glaciares de montaña y puntos críticos de biodiversidad.
- RFC2 Eventos climáticos extremos: que ponen en riesgo o impactan la salud humana, formas de vida, bienes activos y ecosistemas debido a fenómenos meteorológicos extremos como olas de calor, fuertes lluvias, sequía e incendios forestales asociados e inundaciones costeras.
- RFC3 Distribución del impacto: riesgo/impacto desproporcionado que afecta grupos particulares debido a la distribución desigual del peligro físico del cambio climático, exposición o vulnerabilidad.
- RFC4: Impactos globales agregados: daños económicos globales, degradación a escala global y pérdida de biodiversidad y ecosistemas.
- RFC5: Eventos singulares a gran escala: son eventos relativamente grandes, abruptos y en ocasiones, cambios irreversibles en ecosistemas causados por el calentamiento global por ejemplo, la desintegración de la capa de hielo de Groenlandia y Antártica

Se observa en la gráfica 2 un grupo de situaciones que pertenecen a las diferentes RFC mencionadas anteriormente que las barras de Fluvial flooding y Coastal flooding al aumentar hasta dos grados en la temperatura muestran un riesgo/impacto moderado (M) y alto (H) respectivamente lo que indica por una parte que son riesgos e impactos detectados y atribuibles al cambio climático con una confianza media y por otra parte, indica impactos severos y extendidos. El reporte del IPCC infiere que es más incierto estudiar los cambios del ciclo del agua observados, incluyendo las precipitaciones torrenciales y el cambio de características de los monzones que estudiar la variación de temperatura: asimismo que hay una alta confianza que las fuertes precipitaciones sobre las regiones de latitud media y áreas del hemisferio norte han incrementado desde 1951 (Masson-Delmotte et al., n.d.). Por medio de las proyecciones globales del V Informe de Evaluación del IPCC, el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente coordina el Visor de Escenarios de Cambio Climático (AdapteCCa.es) en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) y del proyecto LIFE SAHARA “Sensibilización y Conocimiento para la Adaptación al Cambio Climático”, donde permite la visualización y descarga de datos relativos al clima futuro de España.

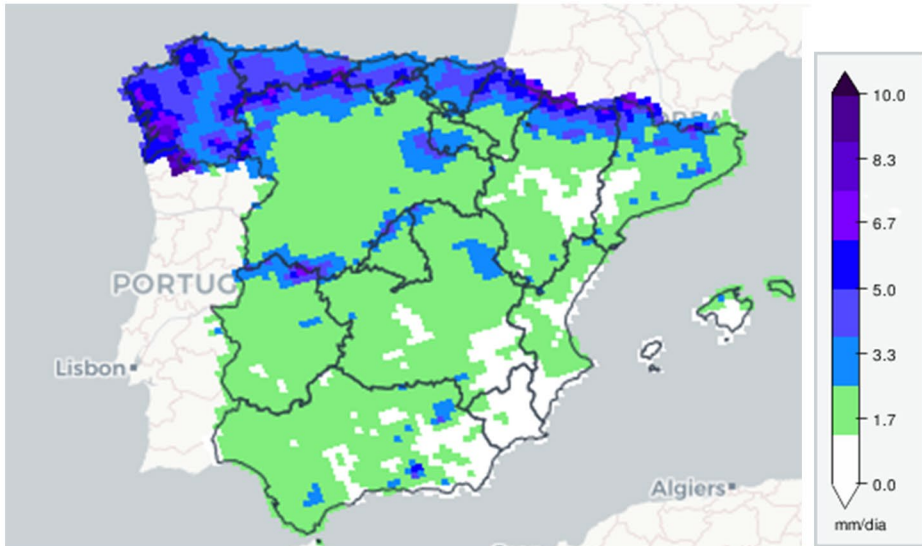


Ilustración 1 Precipitación anual para un futuro cercano (2011 - 2040). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)

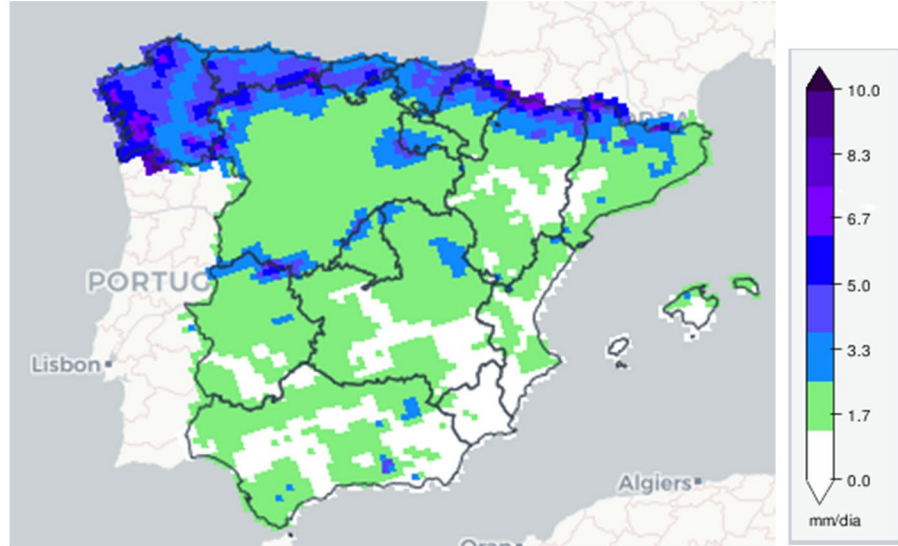


Ilustración 2 Precipitación anual para un futuro medio (2041 - 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)

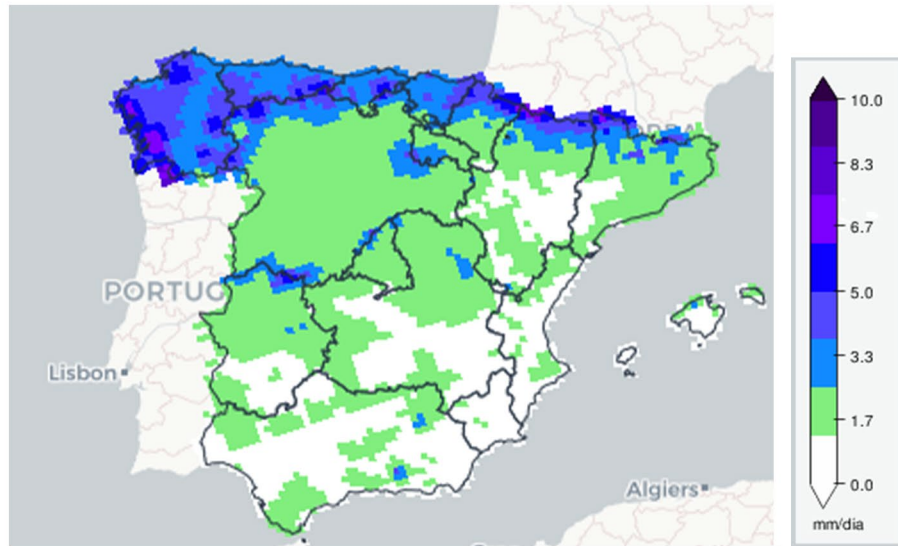


Ilustración 3 Precipitación anual para un futuro lejano (2071 - 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)

A través de esta plataforma, se obtienen las siguientes imágenes que muestran las simulaciones hechas para la variable de precipitación anual y precipitación máxima en 24 horas en referencia a su comportamiento según comunidades autónomas y en el marco de uno de los escenarios planteados por el IPCC en función de la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero y forzamiento radiativos: Sendas Representativas de Concentración RCP 8.5.

Esta simulación se proyecta para tres períodos futuros: cercano (2011-2040), medio (2041-2100) y lejano (2071-2100).

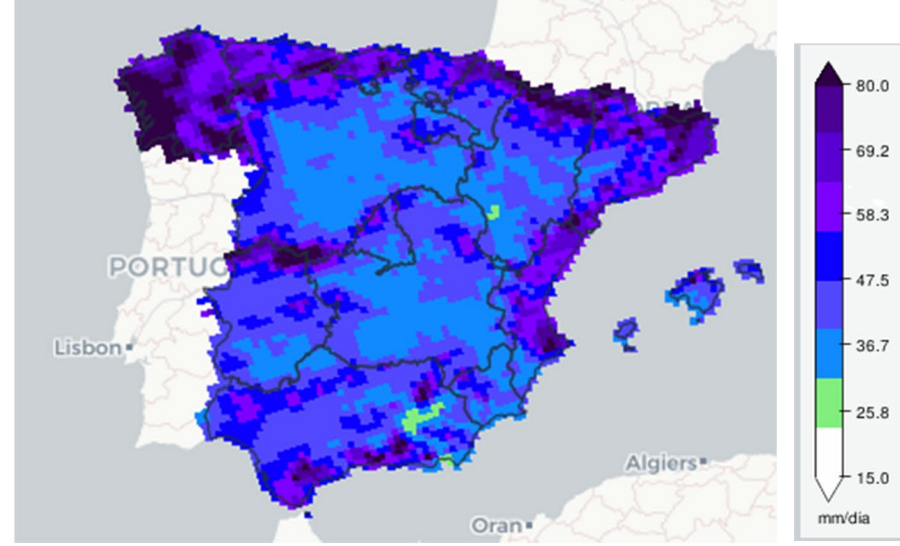


Ilustración 4 Precipitación máxima en 24h para un futuro cercano (2011 - 2040). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)

Al contrastar las anteriores situaciones de precipitación anual versus precipitación máxima en 24 horas de acuerdo con el futuro cercano, medio y lejano, es evidente que a pesar de que disminuye la cantidad de precipitaciones a largo plazo, aumenta los mm/día de lluvia máxima en 24h. Con claridad, las regiones que bordean la península al norte y al este son las que presentan los rangos medios más altos de 47.5 a 80 mm/día en 24 horas.

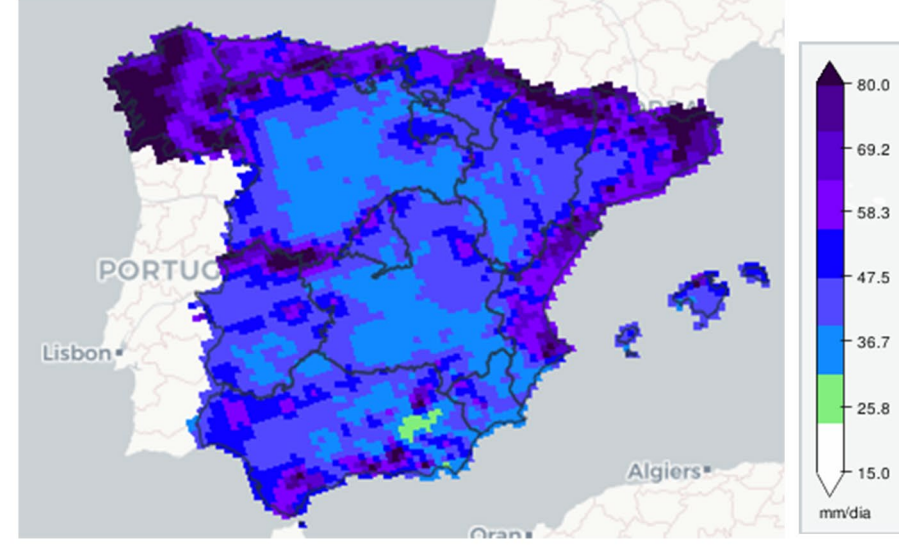


Ilustración 5 Precipitación máxima en 24h para un futuro medio (2041 - 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)

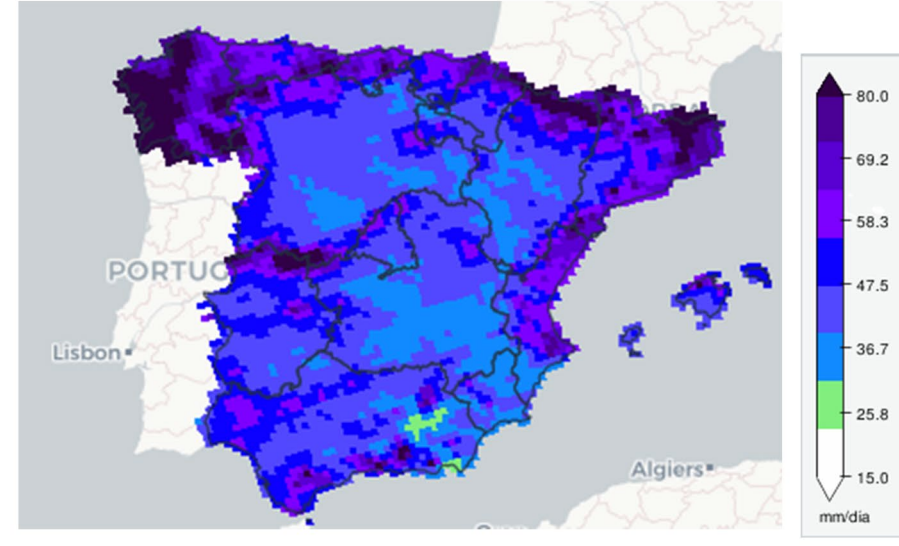


Ilustración 6 Precipitación máxima en 24h para un futuro lejano (2071 - 2100). Fuente: Elaboración propia a partir del visor de Escenarios de Cambio-Climático (AdapteCCa.es)

Gráfico 3 Inundaciones a nivel municipal y daños acumulados en episodios relevantes por ARPSI. Fuente: APRI 2018 anexo 03

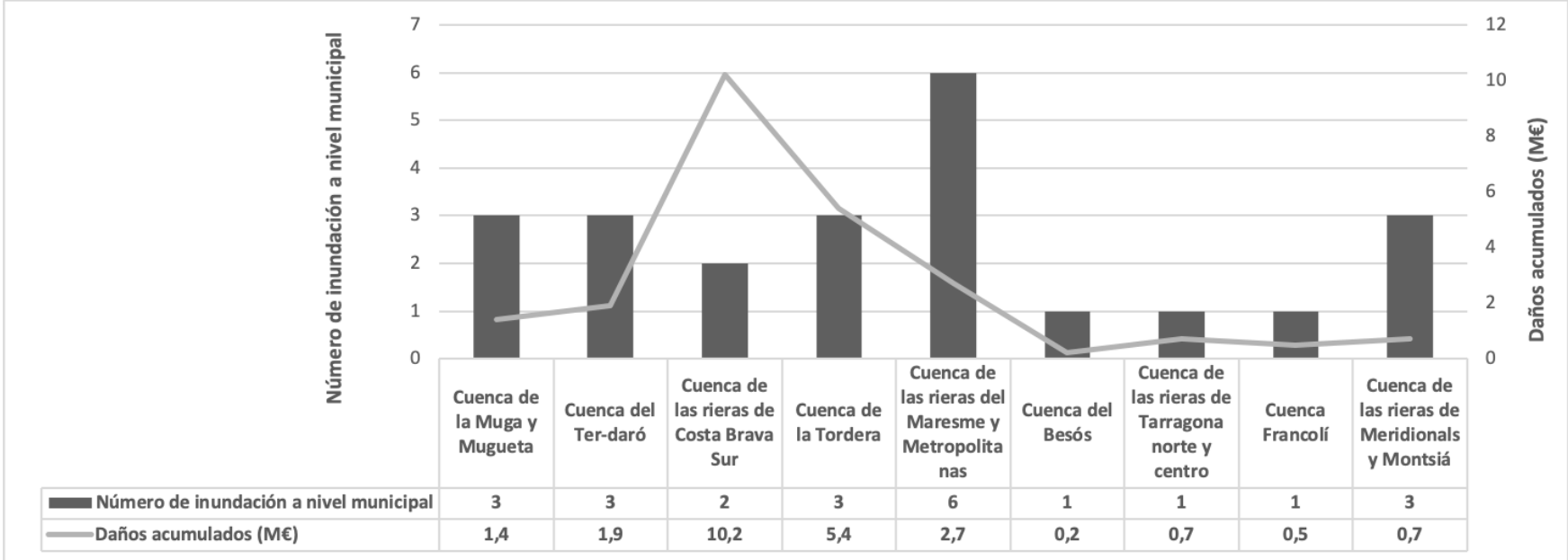
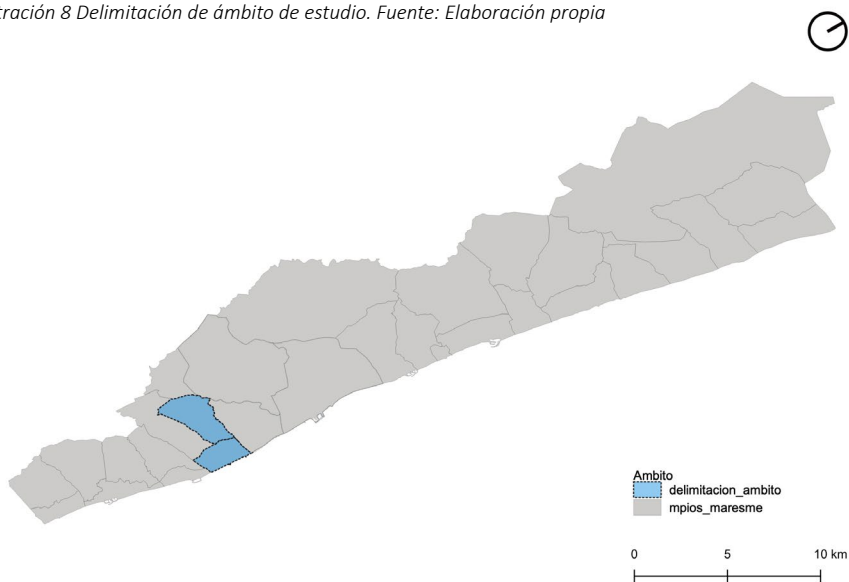


Ilustración 8 Delimitación de ámbito de estudio. Fuente: Elaboración propia



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar cómo afecta la baja permeabilidad de las ciudades en el ciclo del agua y las medidas de adaptación que se pueden abordar desde la perspectiva del calentamiento global tomando el caso de estudio de la riera de Cabrils que atraviesan los municipios de Vilassar de Mar y Cabrils en la comarca del Maresme en aras de continuar la investigación que lleva a cabo el proyecto Urban.CLIMPLAN del Centro de Políticas de Suelo y Valoraciones de la Universidad Politécnica de Cataluña (CPSV- UPC).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar estudios anteriores enfocados en la zona del Maresme que han tratado eventos de inundación o relativo al riesgo de inundación a causa de lluvias y las medidas que se han tomado.
- Localizar el área de inundabilidad en los municipios de Cabrils y Vilassar de Mar a través de las bases cartográficas de la Agencia Catalana del Agua (ACA), la lista de Puntos de actuación prioritaria y las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) que muestra el Plan Especial de Emergencias por Inundaciones (INUNCAT) y el Plan de Gestión de Riesgo de Inundación (PGRI).
- Estudiar las medidas adaptativas que mitigan el riesgo en las ciudades como las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN), Best Management Practices (BMP), Sustainable Urban Drainage System (SUDS), Low Impact Development Stormwater Management Planning & Design (LIDS), etc, y hacer una clasificación de éstas metodologías identificando la importancia y beneficios de las áreas verdes o permeables en estos sistemas.
- Clasificar la zona inundable y relacionar cada uno con las bases cartográficas disponibles concerniente al porcentaje de permeabilidad de la superficie, calificación/uso del suelo, umbral de escorrentía entre otros, de los municipios
- Recomendar la aplicación de las metodologías que se basan en la naturaleza resaltando las ventajas que tiene en cuanto a las mejoras en el clima urbano y reducción de escorrentía superficial.

MARCO TEÓRICO

INUNDACIONES PLUVIALES

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos (IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) cuyos principales factores son, el desbordamiento de cierta cantidad de agua proveniente ya sea de un río o caudal, y por precipitaciones atmosféricas durante ciertos periodos del año que generan amenazas de daños. En otras palabras, el desbordamiento sugiere que se sobrepase los bancos naturales o artificiales a cualquier distancia de una corriente, (US Geological Survey USGS) y se produzca el sumergimiento temporal sobre terrenos normalmente secos (Plan Especial de Emergencias por Inundaciones en Cataluña INUNCAT).

Dependiendo del origen del exceso de agua, se hablará de inundación fluvial, marítima o pluvial ya que hará referencia al i) rebosamiento del agua contenida como en el caso de los dos primeros tipos, o ii) a dos razones que no permiten la suficiente absorción del agua que puede ser la saturación del suelo o la sobrecarga del sistema de drenaje urbano; cabe resaltar que áreas urbanas frente al mar localizadas en deltas y estuarios pueden ser inundadas simultáneamente por estas tres formas, en este caso se habla de inundación como un desastre asociado a varios procesos actuando en diferentes escalas (Ballesteros, C., Jiménez, José A., Viavattene, Christophe, 2018): tormentas marinas, flash flood o inundaciones repentinas e incremento de los niveles del mar.

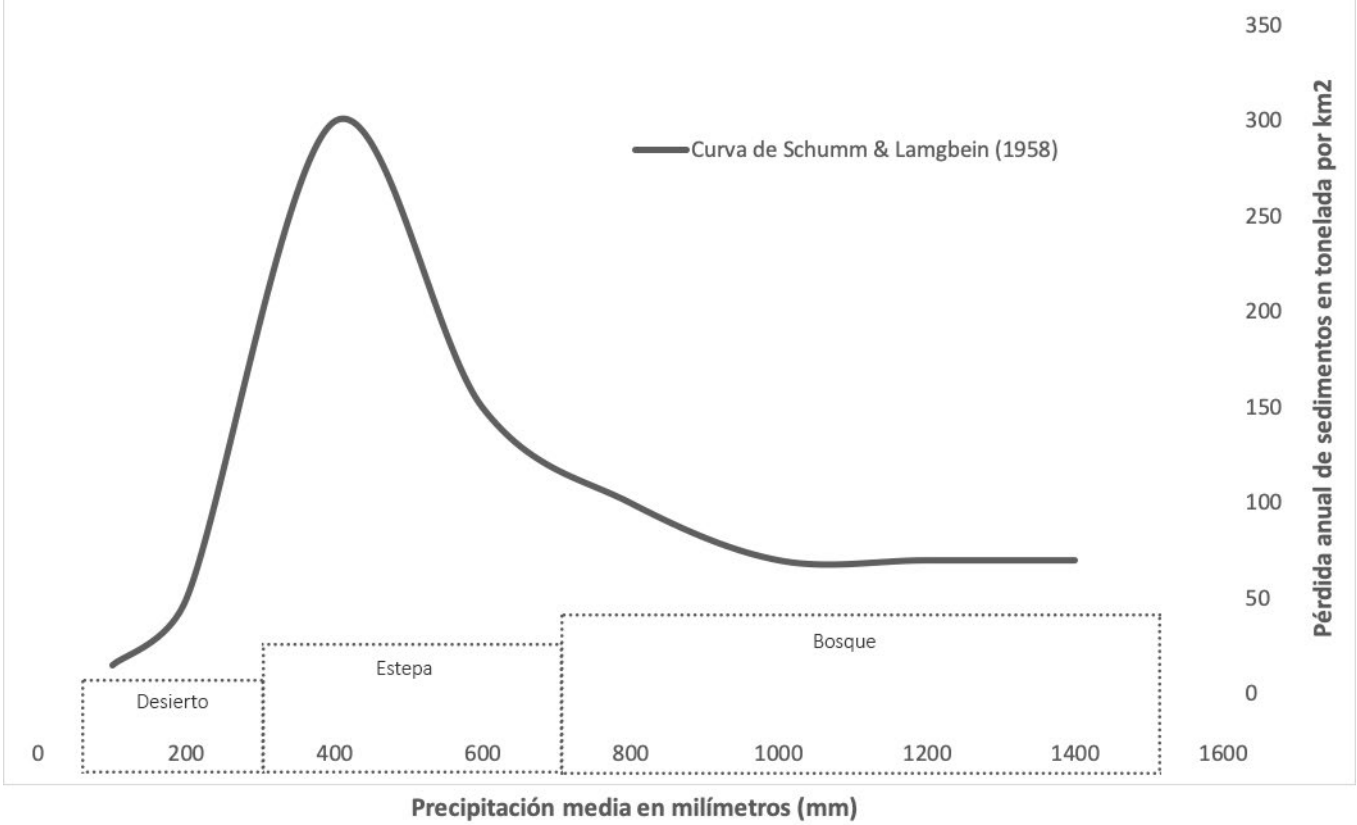
En cualquiera de las formas en las que se produzca inundación, los resultados son devastadores porque se trata no solo de pérdida de bienes sino de vidas lo cual es irreparable; hablamos de que son sucesos que anualmente ocurren alrededor del mundo a diferentes escalas y varía significativamente de una ciudad a otra, de un país a otro y de un continente a otro, siendo África y Asia los más afectados en términos de número de muertes, afectados y pérdidas económicas. En el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos (2018), estiman que el 30% de la población mundial reside en áreas y regiones que habitualmente sufren los efectos de inundaciones o sequías y de acuerdo al seguimiento de 10 años (entre 2006-2015) que ha hecho el Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (CRED, n.d.) resumidos en el Informe Mundial sobre Desastres (IFRC, 2016), los desastres relacionados con el agua afectan alrededor de 140 millones de personas y causan la muerte de cerca de 10.000 personas en el mundo; indica el Informe Mundial de las Naciones Unidas que el número promedio anual de muertes por desastres relacionados con el agua (inundaciones y sequías) están en el mismo rango que el número anual de muertes por terrorismo mientras que el de aquellas personas afectadas (por inundaciones y sequías) por la pérdida de bienes entre otros, es aproximadamente 5 veces más que la cantidad de personas que viven con VIH. En promedio, a nivel mundial las pérdidas económicas causadas por inundaciones y sequías superan los 40.000 millones de dólares anuales en todos los sectores económicos y las tormentas suman otros 46.000 millones de dólares en promedio en pérdidas económicas anuales. Se prevé que estas cifras aumenten entre 200 y 400.000 millones de dólares para el 2030 según estimaciones afectando la seguridad del agua, los alimentos y la energía.

Si bien se ha dicho que las inundaciones son sucesos que año tras año azotan ciudades es de prever que sucedan y de acuerdo a la peligrosidad y vulnerabi-

lidad de una ciudad se ha de implementar planes de riesgo contra ésto basados en estudios geomorfológicos, climáticos e hidrológicos específicos del lugar. Entonces, partiendo de la expresión más simple, el agua y su recorrido sobre la superficie, se organizan los sistemas fluviales (Schumm, 1977) que se caracterizan por tres componentes i) un área de alimentación de donde se derivan los sedimentos y el agua que sería la cuenca de drenaje, ii) un área de transferencia y iii) una zona de sedimentación que es un área más baja. De éstos componentes se obtienen variables independientes y dependientes (Schumm y Lichty, 1965) que van a influir de forma desigual. Las variables independientes más significativas para la hidrología y la actividad erosiva son el tiempo, la geología (litología y estructura), el clima y el relieve inicial. De este grupo, la litología y el clima intervienen en la vegetación. Mientras que las variables dependientes más relevantes son la hidrología que analiza la escorrentía, el caudal y la producción de sedimentos, otra variable es el relieve y por último la morfología de las laderas y la red de drenaje.

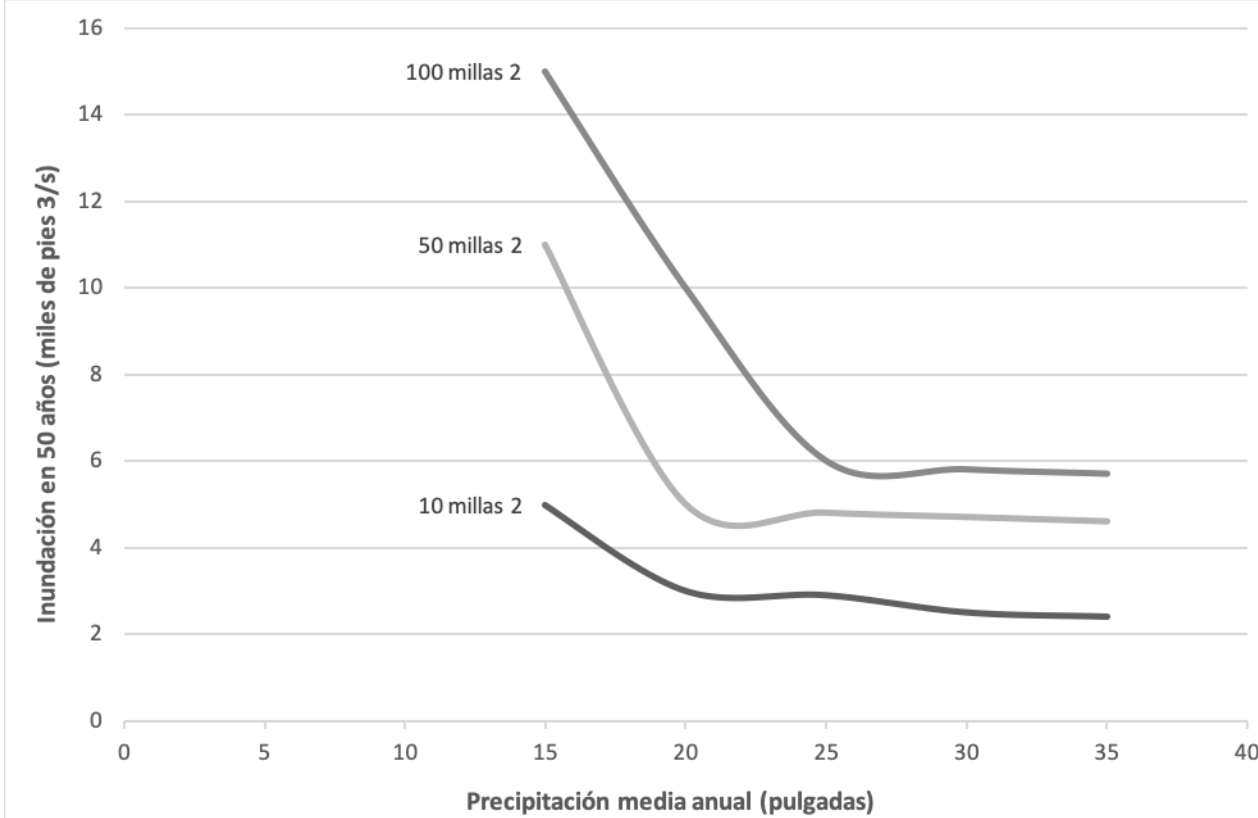
Entonces, el tiempo que requiera una zona en evacuar el contenido extraordinario de agua dependerá de la superación de la capacidad de infiltración que

Gráfico 4 Curva de Schumm & Langbein (1958) Variación de la pérdida de sedimentos en sistemas fluviales en función de la precipitación media anual. Fuente: Reelaboración a partir de Gutierrez Elorza 2001



tenga el suelo, así, el agua que cae se infiltra en los materiales existentes en la superficie hasta el punto en que este se satura. La velocidad de infiltración con la que el agua penetra el suelo disminuye rápidamente al comienzo, para luego entrar en una etapa de estabilización. Para controlar o hacer seguimiento de la infiltración es preciso basarse en las variables mencionadas, textura y estructura del suelo, cobertura vegetal, pendiente del área y tipo de lluvia. En especial las precipitaciones jugarán un papel fundamental en la composición del relieve sobretodo en ambientes y zonas áridas a través de la escorrentía superficial ya que debido a la falta de protección del sustrato geológico por el hecho de carecer de vegetación es impactado por las gotas de lluvia. En un escenario afectado por el cambio climático Knox (1984) establece el 70% como umbral crítico de cobertura vegetal que corresponde a una precipitación media anual de 400-500 mm, para valores por debajo del 70% aumenta el suelo erosionable y se puede ver en el gráfico 4 propuesto por Langbeim y Schumm (1958) donde se relaciona la precipitación media anual con la producción de sedimentos. La curva del gráfico indica que a medida que aumenta la precipitación en los desiertos por ejemplo, cuyo rango es menor de 300 mm de precipitación media, hay mayor presencia de escorrentía por lo que la erosión aumenta y en este punto incrementa la vegetación pero disminuye la sedimentación.

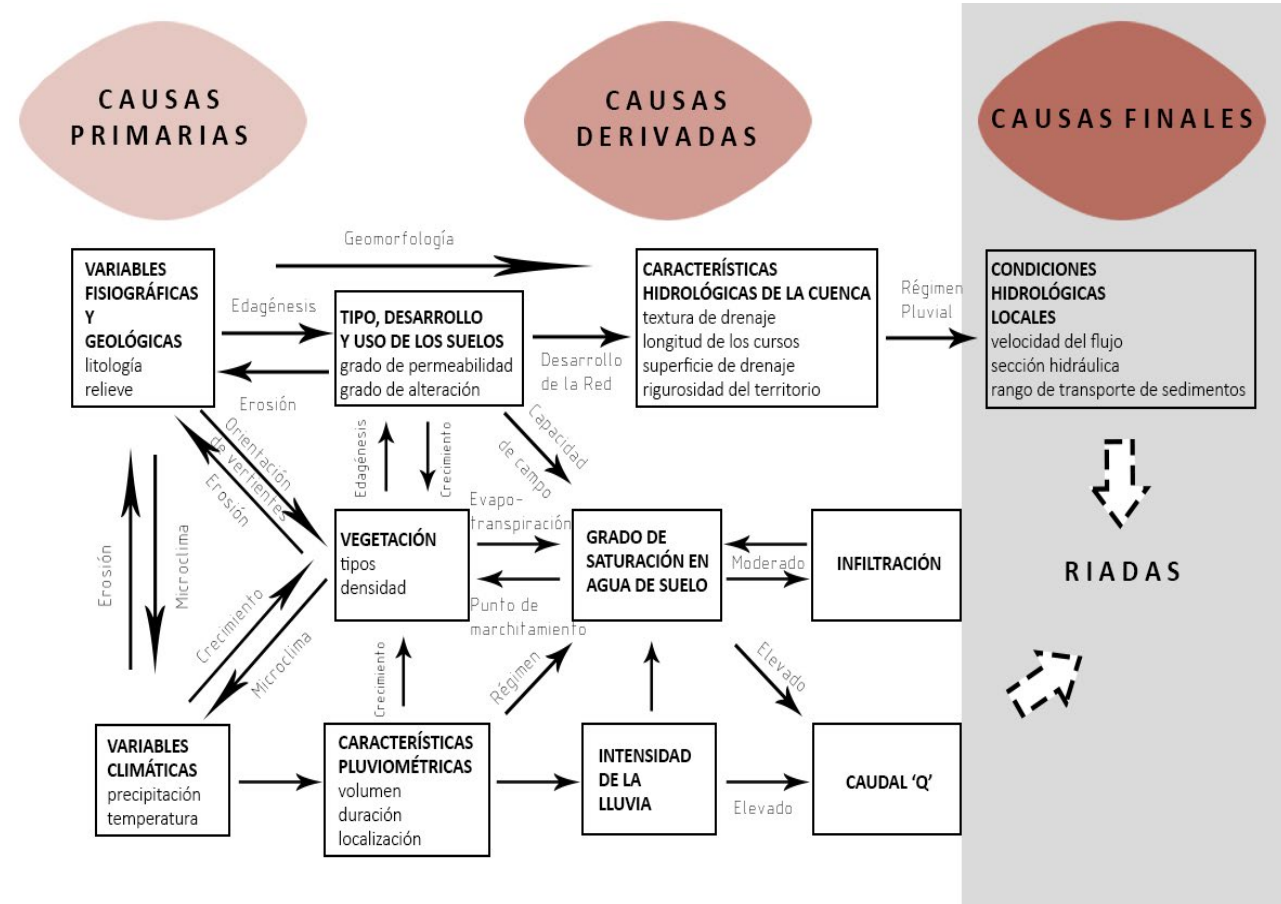
Gráfica 5 Relación entre la magnitud de la inundación con un período de retorno de 50 años y la precipitación media anual, para tres cuencas de drenaje de distintas superficies. Fuente: Reelaborado a partir de Knox 1972



De esta forma, si se comparan desiertos extremos con regiones semiáridas, en los primeros hay menor erosión hídrica mientras que en las otras al ser más recurrente las precipitaciones de tormenta, incrementa la presencia de escorrentía, hay más erosión y se eleva la producción de sedimentos. De aquí se resalta la importancia de la vegetación en torno a la reducción de escorrentía superficial y erosión del suelo.

Hay frecuencia de inundaciones en regiones semiáridas por el hecho de que el agua proveniente de precipitaciones cobra celeridad sobre la superficie al tratarse de áreas con grandes niveles de erosión. El gráfico 5 muestra el aumento de la magnitud de inundación a medida que la precipitación media anual disminuye de unos 500 mm a aproximadamente 375 mm en cuencas de diversas áreas de drenaje (Knox, 1972). Esto indica que un cambio climático de relativamente húmedo a seco producirá un ensanchamiento del canal para acomodarse a crecidas más importantes (Gutierrez Elorza, 2001).

Gráfico 6 Relación existente entre parámetros que influyen el origen y desarrollo de las riadas. Fuente: Reelaboración a partir de Gutierrez 1992



La erosión del suelo es el proceso de desgaste de una superficie a causa del desplazamiento de ésta, como se ha mencionado es típico de las zonas semiáridas y se origina por altas precipitaciones en suelos poco permeables, actividades como la agricultura, entre otros y cuando existan asentamientos en estas regiones se hace vulnerable a inundaciones que ocasionan daños en la infraestructura urbana por lo que una de las soluciones planteadas para controlar la movilización de sedimentos ocasionados por las escorrentías superficiales, son las ramblas, un término utilizado fundamentalmente para designar cursos fluviales efímeros de las zonas semiáridas de la cuenca mediterránea española. Estos cursos tienen fondo plano y paredes verticales y sólo son funcionales cuando se producen grandes aguaceros, que dan lugar a crecidas que movilizan una importante carga sólida (Segura, 1990). Sin embargo, un tratamiento inadecuado de estas ramblas hace la diferencia entre una riera y una riada (ver gráfico 6) ya que la baja permeabilidad de éstas no permite infiltración del agua al suelo y eleva la velocidad con que fluye, por tanto en una descarga abundante y repentina de lluvia en un corto período de tiempo, la probabilidad de inundación del tipo flash flood o inundación súbita (ver tabla 2) es de esperarse. Este tipo de inundación se caracteriza porque lluvias de tormenta ocupan diámetros pequeños de unos 8km y se limitan a cuencas de 100 km2 o menores, como el tiempo en que llegan a su máximo parte de cero a pocos minutos u horas lo que se traduce a una ola brusca, turbulenta y cargada de detritos (Graf, 1988) que avanza hasta encontrar donde depositar el agua.

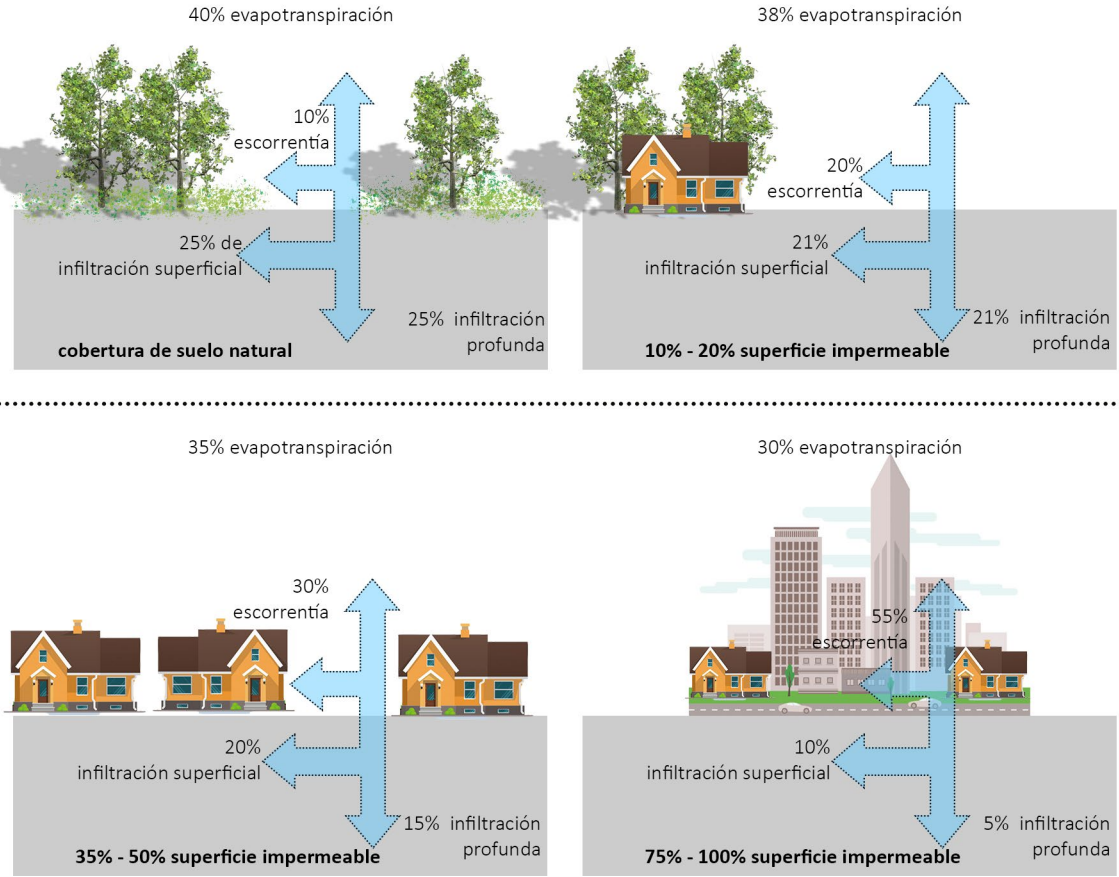
Tabla 2 Descripción tipos de inundación repentina en Cataluña. Fuente: Elaboración propia a partir de Llasat, Marcos, Gilabert & Llasat-Botija

Tipo	Subtipo	Duración	Intensidad	Alcance	Observación
(LFF) Inundación Local	súbita	Efímero: entre 1 y 3 horas	180 mm/h 5 minutos Precipitación total <100 mm	Afecta cursos de agua pequeños, costas, cuencas de 5 a 50 km2	La descarga total no es tan alta, pero puede producir daños extraordinarios en áreas altamente urbanizadas alrededor de rieras o arroyos
(EFF) Inundación extendida	EFF a)	Menos de 24 horas	>200 mm	Afecta cursos de aguas cortos y cuencas de 50 a 2,000 km2	Inundaciones catastróficas en menos de 6 horas
	EFF b)	Más de 24 horas y menos de 4 días	Entre 200 y 400 mm con posibilidad de ascender a 800 mm	Efecto dominó: afluentes afectan ríos de forma permanente >2,000 km2	Comienzan en los Pirineos
Inundación extendida (EF)		Larga duración: una o más semanas	Intensidad promedio baja con picos de alta intensidad. Precipitación total >200 mm	inundaciones en ríos de forma permanente	Mäs inusuales en Cataluña

Se dice que un suelo es permeable cuando absorbe el agua y es capaz de filtrar. Por ejemplo, los suelos arcillosos tienen baja permeabilidad porque el diámetro medio de sus partículas no supera la milésima de milímetro, por lo cual absorben el agua hasta su saturación pero no la filtran (F Tojo, 1990). Entonces esta característica del suelo que expresa la capacidad de retención de agua es fundamental para analizar el nivel de saturación porque a mayor impermeabilización del suelo, mayor es el coeficiente de escorrentía. Para ilustrar lo anterior, la ilustración 9 muestra el impacto de la urbanización convencional en el

ciclo del agua a medida que aumenta el porcentaje de impermeabilización, hay menos infiltración profunda, carencia de vegetación, por ende una pequeña interceptación del agua, hay incremento en los niveles de escorrentía y baja la evapotranspiración, en otras palabras, cambia el volumen de escorrentía en las áreas urbanas. La temperatura controla la escorrentía al influir en la evapotranspiración y en el tipo de densidad de vegetación. Estos efectos son más acusados en las regiones áridas que en las subhúmedas y húmedas (Langbein et al., 1949), por ésto uno de los puntos a tener en cuenta durante el periodo pluvial es la temperatura y su influencia sobre el comportamiento de las inundaciones, ya que el agua que se evapora por las altas temperaturas o por la transpiración de las plantas puede llegar a ser mayor en una inundación ocasionada por precipitación, dejando así sólo un porcentaje menor para las escorrentías superficiales, es decir, que el mayor porcentaje del agua estancada tendrá lugar a un plano diferente al de la superficie mediante el proceso de la evapotranspiración.

Ilustración 9 Impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico del agua. Fuente: Reelaborado a partir de U.S. EPA, 2007



CIUDADES RESILIENTES

Eventos como las riadas llevan a que las ciudades corran riesgo porque dos factores están presentes: la vulnerabilidad y la peligrosidad (ver gráfico 9). El riesgo en una ciudad hace referencia a las pérdidas esperadas, sean personas, daños a propiedades u otros debido a la exposición a un determinado accidente en una determinada área y período.

La frecuencia o probabilidad con la que se produzca el evento y la magnitud o intensidad determinan el peligro. En términos de las inundaciones pluviales, en especial las repentinas o súbitas, se refiere a la velocidad y la duración del evento mientras que la vulnerabilidad estima el grado de daño o pérdida de un elemento o grupo de elementos expuestos a ocurrencia de un fenómeno semejante con una determinada magnitud e intensidad.

Por tanto, en presencia del cambio climático y los eventos que éste desencadena no solo las ciudades que enfrentan riesgo han de tomar una posición diferente puesto que los sistemas complejos ya no están comportándose de una forma lineal y razonablemente predecible, esto hace que la concepción de planeamiento y la administración tradicional, sean menos efectivas (Folke, 2006). Siguiendo esta línea de pensamiento, surge el concepto de resiliencia basado en que el futuro es tan incierto que es sabio desarrollar caminos flexibles en dirección a un futuro sostenible (Veelen, 2016)¶. La resiliencia tiene un significado que es aplicado a diferentes disciplinas; en su expresión mínima es la capacidad de un sistema de absorber perturbaciones y reorganizarse mientras experimenta cambios para mantener en esencia la misma función, estructura, identidad y retroalimentación (Walker et al. 2004); en términos de ciudades resilientes estas se pueden definir como aquellas que evalúan, planifican y actúan para prepararse y responder a peligros naturales y creados por el hombre, repentinos y de inicio lento, esperados e inesperados, a fin de proteger y mejorar la vida de las personas, asegurar los beneficios del desarrollo,

Tabla 3 Características de la isla de calor atmosférica y superficial. Fuente: EPA 2003

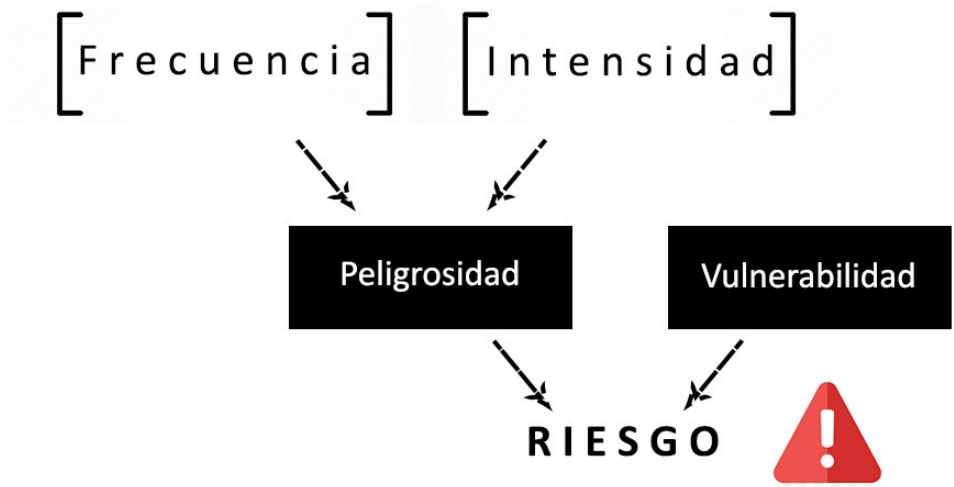
Características	Isla de Calor Atmosférica	Isla de Calor Superficial
Ritmo temporal	Débil o inexistente durante el día Máxima intensidad en invierno y durante la noche	Se mantiene durante el día y la noche Máxima intensidad durante el día y en verano
Métodos de identificación	Estaciones meteorológicas Transectos térmicos	Teledetección Sensores remotos
Representación	Mapas	Imágenes térmicas
Mitigación	Morfología y estructura urbana Aumento de zonas verdes	Modificación tipo de materiales

fomentar un entorno de inversión e impulsar un cambio positivo (Molina-Prieto, L. 2016); se habla de que los sistemas sociales, económicos y ambientales pueden afrontar eventos peligrosos sin perder su composición y puedan continuar adaptándose y transformándose.

La resiliencia climática en áreas urbanas enfrenta impactos del cambio climático tales como temperaturas y vientos extremos, sequía e inundación; las ciudades que buscan ser resilientes en este marco basan su metodología en la interacción de los conceptos: “adaptación” y “mitigación”. La primera es la capacidad de reaccionar y responder a estímulos externos o estrés como por ejemplo la formación de tormentas cada vez más fuertes, y la segunda hace referencia a la mejora potencial del estatus actual conducido a través de un comportamiento pasivo o activo como por ejemplo la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza para atenuar el riesgo de inundación.

Las medidas de adaptación que emplean las ciudades para mitigar el riesgo de inundación van ligadas al uso de la naturaleza como componente principal para asegurar el éxito de su implementación, ya que, la filosofía es reproducir de la manera más fiel posible el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o a la actuación humana, así se devuelve además el valor ambiental a las áreas vulnerables. Ejemplos de estas medidas son el uso de los sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS), creación o restauración de humedales, de huertos urbanos, diseño de edificios con techos verdes, zonas con pavimento permeable, entre otros.

Gráfica 9 Componentes del riesgo. Fuente: Reelaboración a partir INUNCAT



ESTADO DEL ARTE

APLICACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS

Como se ha expuesto, aliarse con las técnicas que se basan en la naturaleza se hace cada vez más necesario porque en su sentido mas amplio nos ayudan a contrarrestar las consecuencias del cambio climático y a mitigar los efectos de los fenómenos derivados de éste como la isla de calor urbano; puede que el uso de metodologías basadas en la naturaleza no sean la panacea pero ciertamente han conseguido a nivel internacional aplicarse y reconocerse como claves para alcanzar objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ODS) referente a ciudades resilientes ante desastres naturales que implican la abundancia o escasez de agua, no contaminación, creación de ciudades sostenibles, conservación de los ecosistemas y acción por el clima ((WWAP), 2018).

La aplicación de buenas prácticas para la mitigación de inundaciones urbanas a causa de la concatenación de eventos provocados por fuertes lluvias habla de emplear un sistema que busque el equilibrio entre la infraestructura gris y la infraestructura verde teniendo en cuenta las características físicas, geográficas, climatológicas, geológicas, hídricas, entre otras, propias del lugar. La meta principal es conducir a técnicas de urbanización de bajo impacto que compensen las pocas zonas permeables que resultan de la edificación y permitir la infiltración del agua para interrumpir en menor medida el ciclo hidrológico.

Entonces se habla de buenas prácticas como metodologías que de acuerdo con el frente que se quiera atacar, hará uso de ciertas técnicas (ver tabla 4); éstas varían según el país a razón de la necesidad que les haya dado origen y combaten contra la escasez de agua, riesgo de inundación pluvial, fluvial o marítima, contaminación del aire o del agua, manejo de residuos sólidos, altos o bajos niveles de temperatura además de derivar beneficios colaterales como el bajo costo de inversión. Entre estas metodologías están las soluciones basadas en la naturaleza (NbS según sus siglas en inglés) para la gestión de riesgos relacionados con el agua, Water Sensitive Urban Design System (WSUDS), Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS según sus siglas en inglés), desarrollos de bajo impacto (LID según sus siglas en inglés), la aparición de las ciudades esponja (CS) en China, el uso de las buenas prácticas en el tratamiento de aguas pluviales (BMP según sus siglas en inglés) entre ellas el Smart Growth (SG), también la Green Infrastructure (GI) o infraestructura verde. Cada una, aunque tiene un factor común en la práctica LID, que es originaria de Estados Unidos, se diferencia en que han sido formuladas en países distintos o que han surgido de alguna otra práctica. Por ejemplo, del LID se desprende la expresión estadounidense BMP que es un término equivalente al de los SUDS desarrollado por el partido de Drenaje Sostenible de Escocia y es referente del Reino Unido, a su vez este término es afín al de Green Infrastructure (GI) y hace parte de las técnicas que utiliza el WSUD originario de Australia.

Tabla 4 Clasificación de técnicas de acuerdo con el uso de vegetación. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía

Uso de Vegetación	Técnicas	Enfoque Específico	Necesita apoyo*	SUDS	NbS	BMP	LID	CS	WSUD	GI
Si	Cubierta Vegetada o Green roof	Retención; reducir impermeabilidad; disminuye volumen de escorrentía, reduce temperatura	No	x	x	x	x	x		x
Si	Biorretención (jardín lluvia/ parterres inundables, canales filtrantes, swales)	Retener, almacenar temporalmente e infiltrar y filtrar escorrentía, remoción de contaminantes	Si	x	x	x		x	x	
Si	Humedales (wetlands)			x	x	x		x	x	x
Si	Pozos y zanjas de infiltración (soakways, infiltration trenches and chambers, dry swales)	Transporte, remoción de sedimentos y contaminantes para mejorar calidad del agua, reducción velocidad de escorrentía	Si	x	x	x	x	x	x	
Si	Estanque de retención (retention ponds)		Si	x	x			x	x	x
Si	Franjas filtrantes (vegetated Filter strips)		No	x	x	x		x		
Si	Alcorques estructurales	Remoción de contaminantes	No	x						
No	Aljibes (Rainwater harvesting)	Almacenamiento, disminuye la escorrentía	Si	x		x	x		x	x
No	Roof downspout disconnection	Reducir impermeabilidad, interceptación	No				x			
No	Pavimentos permeables	Mejora del clima urbano, gestiona escorrentía que se genera en su superficie y alrededor	Susceptible al área	x	x	x	x	x		x
No	Celdas y cajas reticulares (geocellular system)	Almacenamiento, disminuye escorrentía	No	x						
No	Perforated pipe system	Interceptación	No				x			

*Dependiendo del área y el alcance que se plantee lograr por medio del uso de alguna técnica se debe considerar un apoyo extra.

En la tabla 4 se trata de agrupar las diferentes técnicas cuya meta principal sea la de gestionar el agua reproduciendo su ciclo natural y tenga objetivos o enfoques específicos como la reducción de volumen de escorrentía, reducción del caudal pico y la mejora del clima urbano por encima de otros objetivos como la protección y restauración de barreras coralinas o confort al interior del edificio, por ejemplo, debido al planteamiento que maneja esta investigación. De la misma forma la tabla clasifica las técnicas teniendo en cuenta si incluye vegetación en su aplicación o no y a qué metodología hace referencia. La reflexión

de esta agrupación es evidenciar que una misma técnica es utilizada en una o más prácticas y resaltar que la variable vegetación es sinónimo de reducción de escorrentía y mejora del clima urbano. En la mayoría de las experiencias sea bajo el nombre de SUDS, NbS, BMP, LID, CS, WSUD o GI, se verá que las técnicas son implementadas en conjunto, al menos 3 de ellas; lo que determina el máximo o mínimo de empleo es el alcance que se pretenda conseguir independiente del tiempo en el que se proyecten resultados. También se verá que los objetivos perseguidos pueden verse reemplazados por otros cuando entra en contexto con aspectos fisiográficos, geológicos o meteorológicos.

Por ejemplo, al suroeste de Northampton, Reino Unido se comienza a construir en el 2004 por etapas un desarrollo urbano sostenible dirigido por asociaciones inglesas y el consejo de la ciudad que agruparía 6.000 viviendas además de escuelas, unidades de trabajo y áreas para ventas minoristas. Este desarrollo se planteó al norte de la llanura aluvial del río Nene el cual actuaría como desagüe para la escorrentía de aguas superficiales. En particular los proyectistas hicieron los siguientes requerimientos en cuanto al diseño de drenaje:

- Presencia desde el inicio de los Stakeholders
- Manejar un esquema de drenaje **SUDS**
- Permitir un drenaje óptimo de eventos extremos y tratarse el impacto de aguas abajo (río Nene)

El caso de estudio es una subárea llamada “catchment D” (ver ilustración 10) de la fase I y representa 16 ha de desarrollo donde 8 ha son impermeables. El esquema de SUDS planteado consiste en conectar sistema de canales filtrantes (swales) que transporten la escorrentía a un humedal de almacenamiento alrededor de campos de juegos adyacentes al río Nene. Los campos de juegos tienen doble función: almacenaje e infiltración. Adicional a los canales filtrantes y el humedal, los desarrolladores proporcionaron i) pavimentos permeables, ii) recolectores de agua lluvia, iii) barril para el almacenaje del agua lluvia. Sin embargo, hubo dificultades al adoptar estos tres últimos elementos como parte del esquema de SUDS porque la compañía de agua Anglian Water regulada por la Ley de industria del agua del Reino Unido de 1991 exigía que en primer lugar los elementos de infiltración no podían estar conectados a la red de tuberías por lo que se debían desmontar los instalados. En segunda medida, el diseño hidráulico del alcantarillado adoptado debía garantizar la autolimpieza con el pavimento impermeable según lo diseñado (es decir, con descarga atenuada) mientras tiene capacidad para recibir una escorrentía adicional en caso de que falle el pavimento permeable (es decir, descarga sin atenuar). Dadas las condiciones los stakeholders acordaron que una empresa emprendiera el mantenimiento necesario del drenaje.

El diseño del drenaje de las áreas de desarrollo se llevó a cabo bajo la modalidad de un esquema de drenaje SUDS unida con la red de tubería convencional:

- En las viviendas los barriles de almacenaje de agua capturan el agua de lluvia para usarlo en jardines
- Las escorrentías se recogen por medio de sistema de recolección de agua de lluvia convencional para dirigirlo a los canales filtrantes
- Instalación de pavimentos permeables en parkings, patios, callejones y carriles sujetos al acuerdo en detalle con las autoridades de vías

Una consideración que se hizo para implementar los canales filtrantes (swales) y que enfocó su uso dándole dos objetivos principales fue la naturaleza general del subsuelo inmediato del área de desarrollo; éste era de arcilla arenosa lo que indica que tiene una permeabilidad variable y que es posible que el agua subterránea afecte la infiltración en épocas del año: podría suceder que el agua subterránea fuera lo suficientemente alta como para que se convirtiera

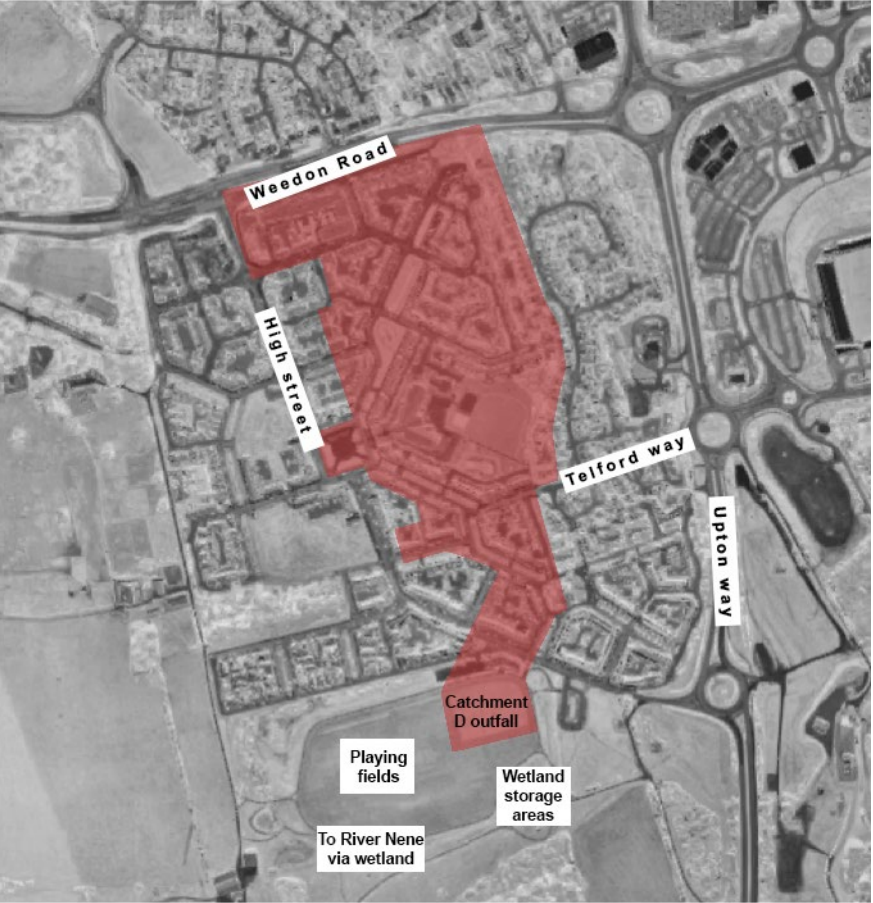
en una zanja con agua rebosada. No obstante, el objetivo de infiltración de los canales fue desplazado por el de transportar y almacenar.

Los canales filtrantes tenían una amplitud de 10 mts con una profundidad de 1,2 mts y una pendiente 1 en 3 o 1 en 5. Y para garantizar que las tuberías descargan la escorrentía a los swales, se ubicaron a poca profundidad (80 cm) del suelo. Visualmente se percibe como un “corredor verde” (ver ilustración 11 y 12). Debido al alcance de los elementos utilizados la interacción entre ambos sistemas de drenaje fue complejo por lo que se trataban cuatro categorías: i) flujo superficial que incluye el de las carreteras, ii) flujo de superficies permeables cuando la infiltración es inhibida por el agua subterránea, iii) flujo descargado de pozos de registro (manholes) por la sobrecarga de alcantarillado, iv) flujo que sobrepase las orillas de los canales filtrantes.

El diseño de transporte y almacenamiento se modeló en Micro Drainage LTD teniendo en cuenta la superficie de infiltración, la tubería de alcantarillado y los canales filtrantes. Para lo anterior se tomó el Digital Terrain Data, los diseños de vías (línea central, curvatura, niveles, información de aceras), rutas de tubería de alcantarillado y de los canales filtrantes (modelados sin infiltración). No se incluyeron los detalles del pavimento permeable ni de las vías menores.

Se hicieron dos evaluaciones, la primera a un período de retorno de 30 años y luego a 100 años. En el primero se simularon tormentas con duración de 15 minutos a 24 horas tanto para invierno como para verano. Y en ningún caso fue detectado un evento de inundación en los sistemas SUDS o convencional. En la segunda prueba con período de retorno de 100 años, hubo una asignación de cambio climático que se traduce a un 10% en el incremento de las tormentas como lo recomienda CIRIA C 609 (2004) donde sí hubo inundación y los puntos sensibles a ella fueron cerca de una escuela y una zona de viviendas. El siguiente paso fue saber con qué velocidad y cuál sería la profundidad para saber el nivel de desastre que puede ocasionar y encontraron que el riesgo no era significativo ya que la profundidad era de 50 mm (altura media de acera) y la velocidad máxima 0,98 m/s.

Ilustración 10 Localización “Catchment D”. Fuente: Google maps



En conclusión, los drenes filtrantes demuestran que operan ante casos extremos protegiendo los edificios de inundaciones, sin embargo, como única solución los SUDS no son suficientes, necesitan de otras estrategias. Referente al caso de estudio, es más rentable a través de los canales filtrantes o swales el transporte de grandes volúmenes de escorrentía que el almacenamiento local. A pesar de ello, para no causar daños río abajo se provee a través del área de campo de juegos, un almacenamiento local.

Ilustración 11 Ubicación de drenes filtrantes. Fuente: Google maps

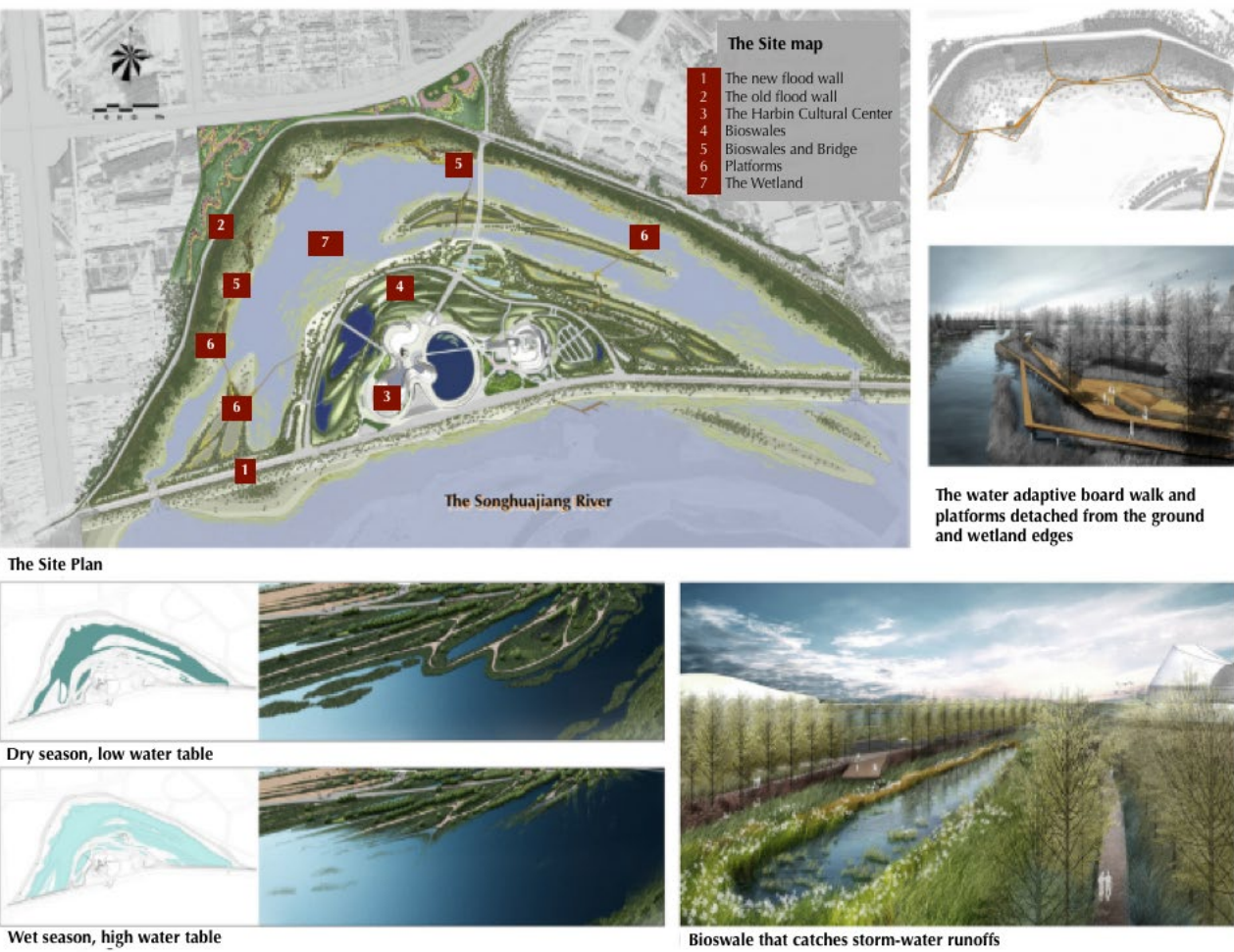


Ilustración 12 Vista de drenes filtrantes. Fuente: Google street view



Al igual que el esquema anterior de SUDS, en la ciudad de Harbin localizada en la provincia China de Heilongjiang, con el objetivo de regenerar un humedal que dejó de recibir agua del río principal Songhuajiang, aplicaron bajo el concepto de Ciudad Esponja la técnica de los swales o canales filtrantes para transportar el volumen de escorrentía. Este corte de suministro fue el resultado de construir una barrera para controlar las inundaciones, ya que la ciudad se ubica en la zona baja del Songhuajiang, sin embargo, fueron dos situaciones las que catalizaron el deterioro: por una parte, el crecimiento de la población llevó a una mayor urbanización al norte del humedal, causando severas inundaciones por escorrentías; por otra parte, la construcción de una planta de abastecimiento de agua produjo que 1,500 m3 de aguas residuales contaminadas fueran vertidas en el río Songhuajiang. La ciudad destinó 118 ha para la construcción de un parque-humedal que conecta el centro cultural de Harbin (ver ilustración 13) dirigido por el equipo de Turesncape quienes hicieron énfasis en dos aspectos fundamentalmente: un humedal que recibiera la escorrentía pluvial, de la planta y del nuevo centro cultural y una conexión flotante que asegurara la interacción de la comunidad con el nuevo desarrollo y los resguardara de las crecientes.

Ilustración 13 Floating connection. The Harbin Cultural Center Wetland Park 2013. Fuente: Turescape



El proyecto fue llamado Floating Connection: The Harbin Cultural Center wetland Park donde diariamente el humedal retiene y trata 1,500 m3 de aguas residuales. El diseño aseguró la interacción con los transeúntes a través de una red integrada de pasarelas, puentes y grandes plataformas elevadas del suelo y el borde del humedal (ver ilustración 14) para dar paso a los bioswales o canales filtrantes que no solo se encargaban de concentrar la escorrentía y transportarla, sino que a través de la cubierta vegetada remueve materiales sólidos y contaminantes. También el uso de caminos peatonales usando arena volcánica presente en los bosques y prados de la región, favorecía la permeabilidad del suelo para la infiltración, además dentro del plan se buscaba preservar la vegetación existente e implementar vegetación adaptativa.

A diferencia del objetivo clave de un esquema SUDS, el concepto chino de Ciudad Esponja, busca combinar infraestructura verde y gris para lograr que “el 70% del agua de lluvia sea absorbida y reutilizada mediante una mejor permeación, retención y almacenamiento de agua, purificación y drenaje, así como el ahorro y la reutilización del agua” (Embajada del Reino de los Países Bajos en China, 2016); en el caso de los SUDS, la gestión del caudal pico y volumen de escorrentía para reducir el riesgo de inundación apuntan a evacuar el agua en un espacio máximo de 48 horas.

En los anteriores dos ejemplos, la idea central era la de concentrar la escorrentía y transportarla a un área de almacenamiento consiguiendo una reducción en el riesgo de inundación y mejorar la calidad del agua a través de la filtración. Además, se evidencia que para alcanzar esa meta el diseño estuvo apoyado en más de una técnica (swales, wetlands, pavimentos permeables, reservorio de agua) lo que nos da una idea de que en cada **metodología** la suma de dos o más **técnicas** forman un **esquema**.

Ilustración 14 Plataformas elevadas sobre el humedal de Harbin. Fuente: Turenscape



- Inicialmente se observa en detalle cómo opera la técnica de Biorretención (ver tabla 5) que engloba los llamados “elementos de infiltración” como son los:
- Jardines de lluvia o parterres inundables (rain gardens)
 - Canales filtrantes o cunetas vegetadas (swales, vegetated filter trips, enhanced grass swales)
 - Pozos y zanjas de infiltración (soakaways, infiltration trenches and chambers)

Estos básicamente consisten en leves depresiones cubiertas de vegetación que facilitan el almacenamiento superficial temporal de escorrentía donde ésta puede ser infiltrada o transportada hasta ser evacuada controladamente.

Tabla 5 Valoración técnica de Biorretención. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía

Técnica	Determinantes	Limitantes	Recomendaciones	Beneficios
Biorretención	Suelos diseñados o preparados con material orgánico (20 – 50 cm), Vegetación mejorada, Filtración del suelo, No compactar los suelos debajo del área de biorretención, ni el lecho de siembra del suelo porque reduce las capacidades de infiltración	Mantenimiento periódico, Si no de filtra y evacúa la escorrentía en menos de 48 h será fuente de mosquitos y mal olor, No utilizar materiales químicos, Separarlo de la construcción de cimentación 2 o 3 mts, Tiempo máximo permitido de estancamiento después de la tormenta: 24 h	Si se asume una escorrentía con alta contaminación espesor del relleno= 0,8 o 1 mt para aumentar la capacidad de biorretención (ver tabla 6 f), Pendiente lateral máxima 3H:1V o 2H:1V para protegerse de la erosión, Utilizar vegetación autóctona,	Menos contaminantes por infiltración de suelo preparado, Menos área impermeable, Mejora la calidad de aire y agua, Mayor evapotranspiración, Mayor valor estético, Bajo costo, Reducción de escorrentía en un 85% (sin desagüe)

Las áreas de biorretención ajardinadas se retiran de la estructura de cimientto mínimo de 2 a 3 mts, tienen una profundidad de 15 a 30 cm (ver tabla 6 a) cubierta por una capa de mulch o mantillo de 5 a 7 cm y está apoyada por un lecho filtrante que puede ser una mezcla de arena, material fino orgánico (ver tabla 6 b), citando la experiencia de la ciudad de Harbin, el material que utilizaron fue arena volcánica, material que no debe compactarse porque reduciría las capacidades de infiltración, así mismo se reduce en un 50% la infiltración si el área cuenta con desagüe mientras que si no tiene habrá una infiltración del 100% (Valley, 2010). Por ejemplo, en Northampton, UK en “Catchment D” ubicaron tubería de desagüe en los corredores verdes puesto que más que infiltración buscaban el transporte de la escorrentía. Dependiendo del origen de la escorrentía se hará uso de pretratamientos para eliminar partículas, esto es anteceder el área de biorretención con una tira de vegetación filtrante (ver tabla 6 d) como lo hicieron en Northampton (ver ilustración 12) o un diafragma de piedra (ver tabla 6 e) que es usual para cuando el agua proviene de vías (ver tabla 6 c).

Tabla 6 Representación gráfica de situaciones en la técnica de Biorretención. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía

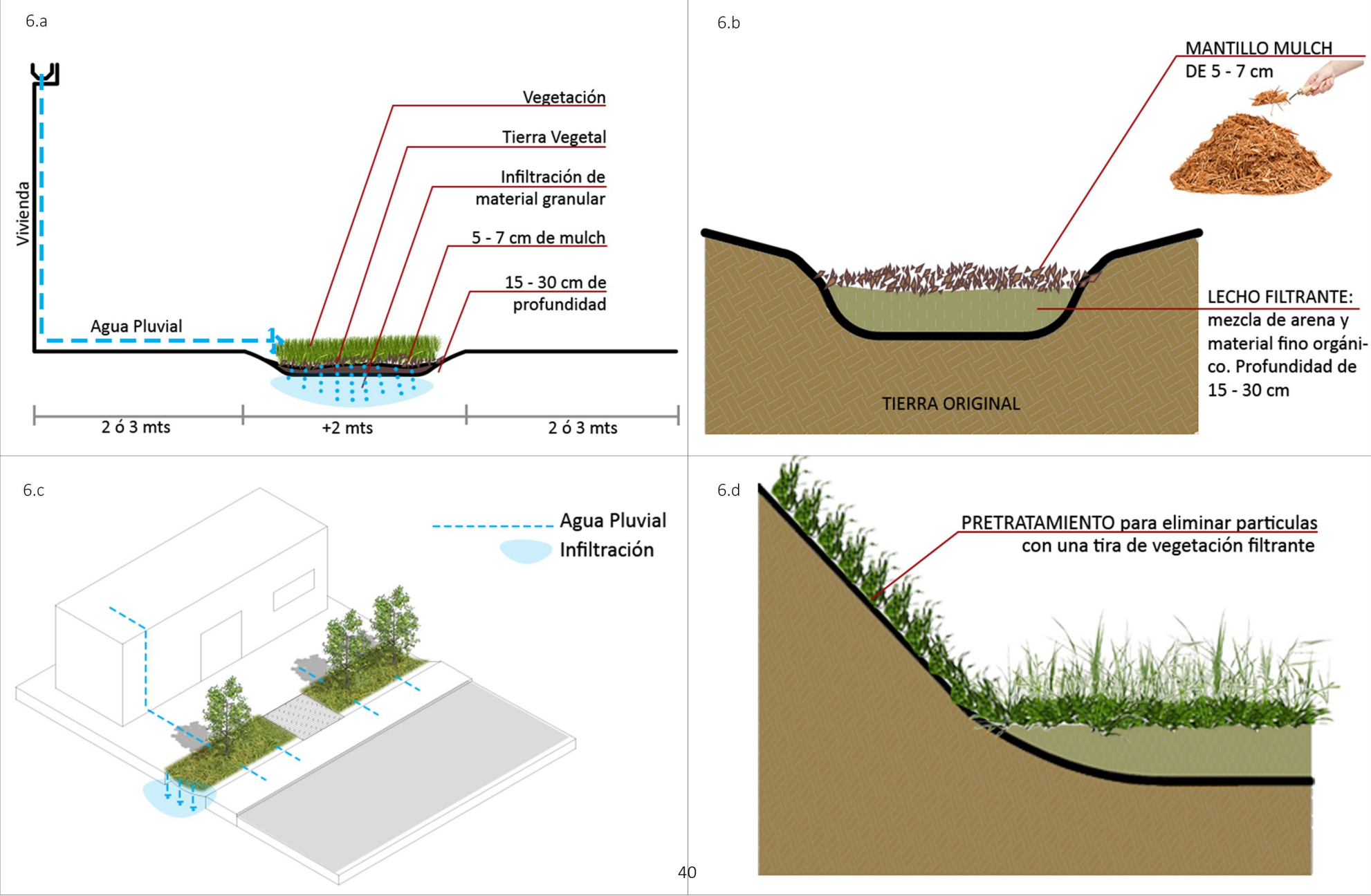
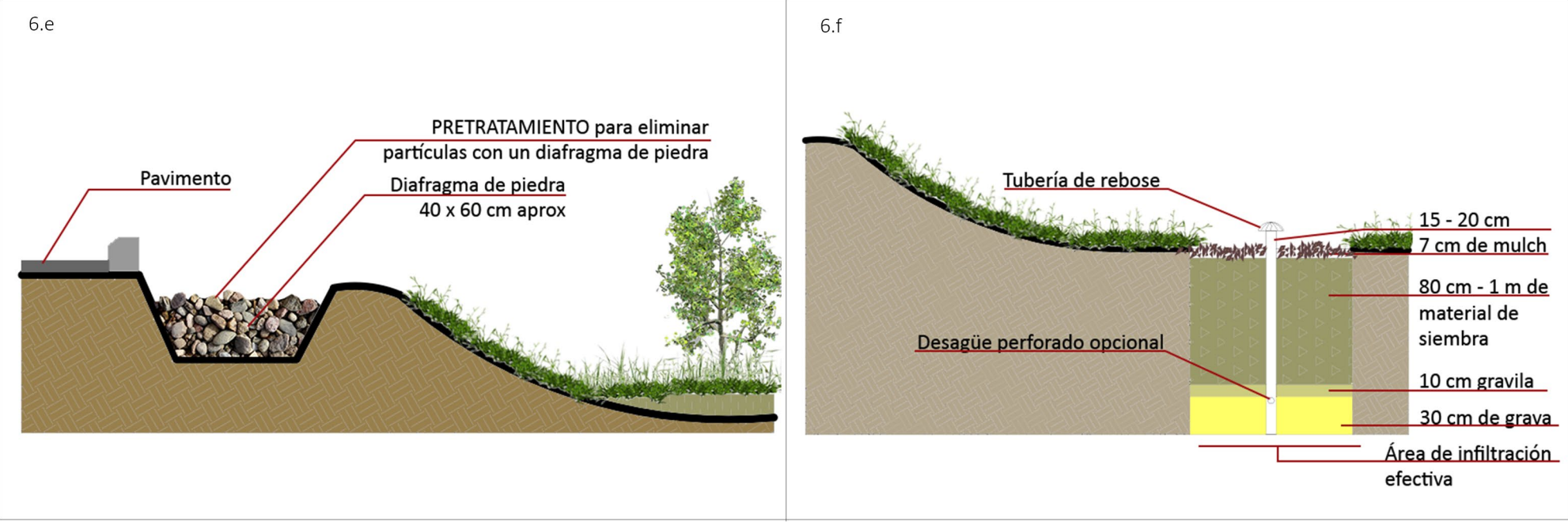


Tabla 6 Representación gráfica de situaciones en la técnica de Biorretención. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía



de sus áreas tributarias durante aproximadamente el 90% de todos los eventos de lluvia que ocurren anualmente (p. ej., 25-30 mm de precipitación diaria). Las técnicas de infraestructura verde que captan el agua pluvial no solo mejora la biodiversidad, reduce los riesgos de inundación sino que aporta beneficios térmicos debido al calor latente de vaporización del agua evaporada, por ejemplo, el techo verde del Centro de Convenciones Jacob K. Javits (ver ilustración 15) en Manhattan, New York, tiene 2,7 ha y es el segundo más grande de los Estados Unidos, retiene más de la mitad del evento de precipitación que ocurre durante la temporada de cultivo y evapora en promedio 3,2 mm de agua por día durante ese mismo período, si se compara con un techo negro de membrana convencional, las cubiertas vegetadas reducen la intensidad de la isla de calor urbano y disminuye la temperatura de superficie exterior (Alvizuri et al.,2017; Smalls-Mantey, 2017).

Las cubiertas vegetadas, techos verdes o green roofs (ver tabla 7) son sistemas multicapas sobre la cubierta de un edificio donde la lluvia cae y es filtrada por la vegetación, posteriormente retenida por el sustrato y cuyo exceso es evacuado a través de la capa drenante o almacenamiento de agua para posterior riego pasivo en período seco.

Ilustración 15 Cubierta vegetada en el Centro de Convenciones Jacob K. Javits, Manhattan, NY. Fuente: Félix Lipov shutterstock.com



Tabla 7 Valoración de la técnica de Cubiertas verdes. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía

Técnica	Determinantes	Limitantes	Recomendaciones	Beneficios
Techo verde, Green roof, Cubierta vegetada	Inclinación de la cubierta Porosidad Tipo de capa y vegetación Patrones de lluvia Capacidad portante del edificio Acceso por mantenimiento	Mayor costo y mantenimiento que el tejado convencional Difícil tener una vegetación constante y duradera Captura/trata sólo la escorrentía de la cubierta donde se instala	Debe ser combinada con sistemas de recolección de aguas lluvias en los edificios	Disminuye el volumen de escorrentía Reduce las áreas impermeables Mejora la calidad del aire Disminuye el nivel de ruido y la UHI Aumenta la biodiversidad y valor estético

La cubierta vegetada extensiva (ver tabla 7 b) fue la utilizada para cubrir 27,316 m2 del centro de convenciones Jacob K. Javit, el cual, durante un período de 4 años fue monitoreado para cuantificar la respuesta que había tenido a un término de largo período de escorrentía pluvial. El seguimiento monitorizado se hizo durante meses cálidos (junio 2014 – Nov 2017) a través de una estación meteorológica, el diseño personalizado de sistema de drenaje, tres canales Parshall equipados con transductores de presión y lisímetros de pesaje. Específicamente se buscó cuantificar la habilidad de reducir el volumen y la tasa máxima de escorrentía de 25.44 mm de profundidad de techo verde. Según observaciones, la agencia Environmental Protection Agency Stormwater Management Model (EPA-SWMM) proyectó eventos de volumen de escorrentía entre +10% y-20% y eventos de tasa de escorrentía pico entre +25% y-15%. Los resultados arrojados por la investigación fueron:

- Aproximadamente el 55% de la precipitación acumulada que cayó al techo verde durante el monitoreo fue capturado y retenido. El porcentaje promedio retenido fue de 77% y el coeficiente promedio de escorrentía fue de 0.7 lo que significa que hubo una reducción substancial en el volumen y la tasa de escorrentía generada desde el techo comparado con la condición anterior a la cubierta verde, cuando la mayoría, si no toda el agua precipitada habría resultado inmediatamente en escorrentía.
- La investigación sugiere que, en promedio, 96% de los eventos de precipitación 6.35 mm o menos fueron retenidos con el techo verde; mientras 27% del volumen total de eventos fue retenido por eventos mayores de 12.7 mm en profundidad.
- Un análisis más sensible sugiere que si la profundidad del sustrato hubiese incrementado, se lograría un mejor rendimiento de captura de aguas pluviales, pero solo hasta 127 mm visto que le incremento de la precipitación junto con las cálidas temperaturas resultado del cambio climático puede reducir el rendimiento hasta un 5% independientemente de la profundidad del sustrato.

El rendimiento favorable que demuestra la vegetación en climas fríos o subárticos como el de New York, son atractivos para implementar techos verdes puesto que las condiciones de lluvia favorecen el crecimiento de la vegetación. En general, pocos son los estudios que se dediquen a evaluar la efectividad técnica en climas mediterráneos (Fioretti, Palla, Lanza, & Principi, 2010) y existe la necesidad de extraer características cuantitativas sobre las cualitativas tanto de

cubiertas vegetadas extensivas como las intensivas.

En un estudio realizado en Italia, se hizo el seguimiento al rendimiento de dos techos verdes sobre edificios públicos, uno de ellos en Génova una ciudad costera al noroeste de Italia en el mar Liguria; y el otro, en Ancona, ciudad costera al centro de Italia junto al mar Adriático. El caso de Génova evalúa el rendimiento de cubiertas vegetadas relacionado con la gestión de aguas pluviales durante los años 2007 y 2008 sobre el techo del laboratorio de ingeniería ambiental de la universidad de Génova que cubre un área de 1,000 m2. El sistema de techo verde fue construido en 1969 con una capa de drenaje en ladrillos para una profundidad inicial de 8cm y un medio de cultivo de suelo arcilloso para la capa, de espesor variable con una profundidad máxima de 35 cm. En el mes de mayo de 2007 se construyó en la porción central del techo verde (ver ilustración 16) un nuevo sistema de sustrato de una extensión de 350 m2 dividido en dos tramas para fines investigativos: a) en una mitad el medio de cultivo es 70% Lapillus y 30% piedra pómez y turba; b) en la otra mitad, conserva el 70% de Lapillus y se le añade un 20% de piedra pómez y 10% de zeolita y turba. Las mediciones se hicieron a través de la instalación de una estación meteorológica, un aparato hidráulico para monitorear el flujo superficial y un TDR (Time Domain Reflectometry).

Tabla 8 Representación gráfica de la técnica de Cubiertas verdes Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía

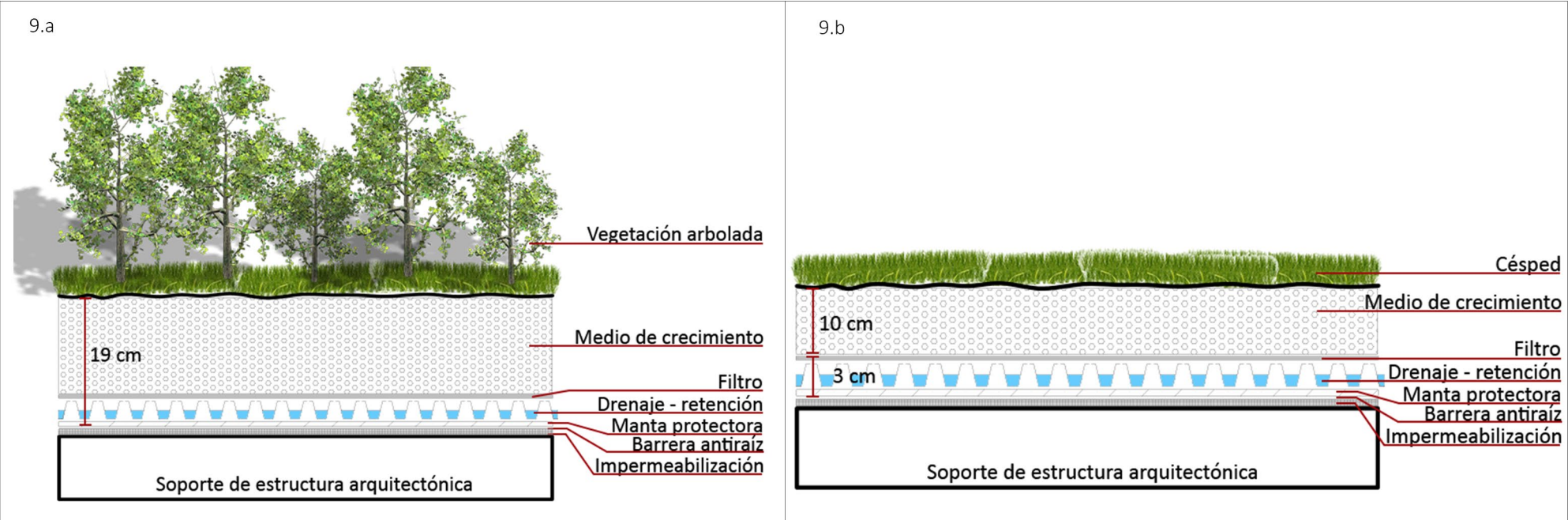
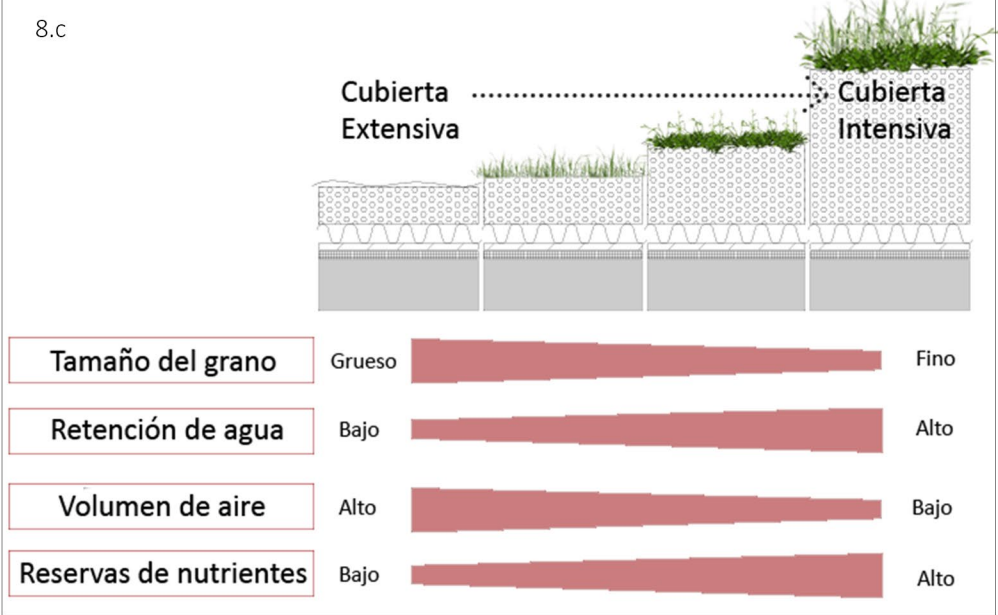


Tabla 8 Representación gráfica de la técnica de Cubiertas verdes Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía



En tres fases se dividió la investigación que para el 2008 seguía en proceso:

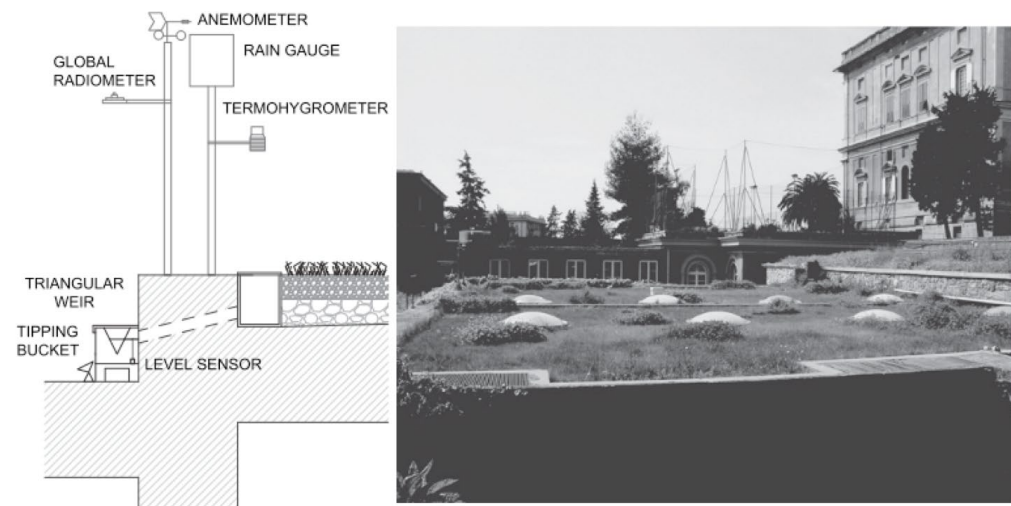
- Recolección de datos de la cubierta impermeable de referencia siguiendo el modelo de gestión de aguas pluviales de la Agencia de Protección Ambiental EPA (SWMM 5.0)
- Recolección de datos de todo el nuevo sistema de techo verde
- recolección de datos de la porción de 350 m2

Durante la fase ii se analizaron un período de 13 meses evento por evento demostrando que incluso en climas mediterráneos los techos verdes significativamente mitigan la generación de escorrentía, atenuación máxima y aumento del tiempo de concentración, aunque se podría observar un rendimiento reducido durante los períodos de alta precipitación. Cuatro de diecinueve eventos de precipitación monitoreados no produjeron flujo de salida de subsuelo, cinco de ellos produjeron una salida de subsuelo con un flujo máximo más bajo que 0.1 l/s y sólo tres eventos produjeron una salida significativa de la sub-superficie con picos máximos mayores a 1 l/s. En todos los eventos, el volumen de precipitación fue infiltrado completamente, es decir, no hubo escorrentía superficial y sólo parcialmente exfiltrado.

En la segunda experiencia, se estudiaron los beneficios energéticos relacionados a la cubierta verde instalada en el edificio del Consejo Regional de Marche, Ancona para lo que se midió la atenuación de la radiación solar a través de la capa de vegetación y el rendimiento de aislamiento térmico de la estructura de techo verde. El área donde se instaló la cubierta verde intensiva fue de 3,800 m2 cuya capa de suelo fueron variedades de plantas nativas como el romero, lavanda y arbusto genista. El estudio comienza en el 2008 concentrándose en el análisis térmico del período de verano donde se espera que sea más efectivo el rendimiento de techos verdes en áreas de clima mediterráneo.

Se instalaron tres sistemas de adquisición de datos (LSI BABUC ABC) conectadas a un conjunto de sensores en el techo e interior del recinto para medir las condiciones climáticas (ver ilustración 17); la estación meteorológica medía los parámetros de: radiación global, radiación directa, dirección del viento, velocidad del viento, temperatura seca del aire, humedad relativa y detección de lluvia. El segundo sistema de adquisición de datos conectaba sensores para detectar parámetros específicos del techo como: la radiación global debajo de la vegetación arbustiva, la temperatura del aire bajo la vegetación, temperatura externa superficial del techo convencional y la temperatura debajo del techo verde (entre el drenaje y la impermeabilidad). El tercer sistema de medición

Ilustración 16 Techo verde Universidad de Génova y esquema de medición. Fuente: Fioretti, R. Palla, Lanza, L. G. Principi, P. 2010

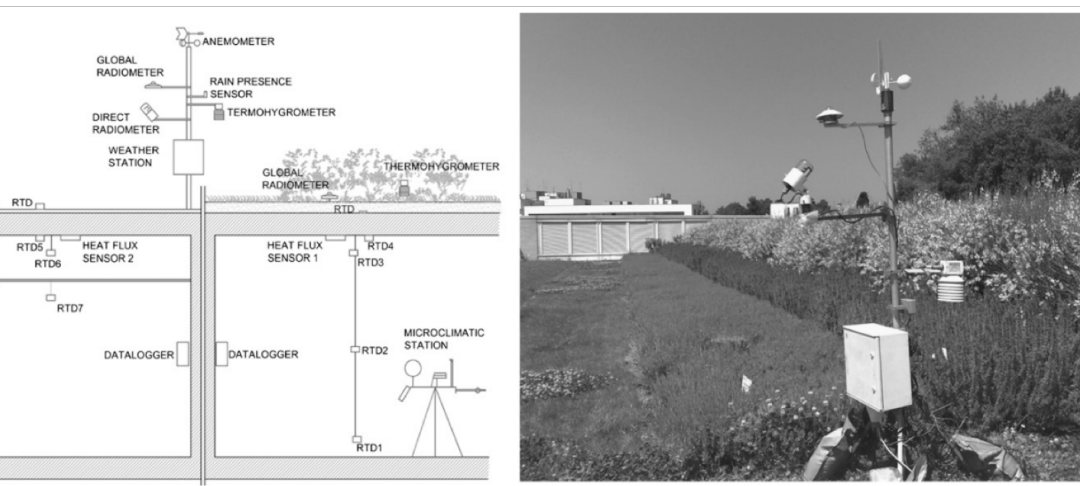


se refiere al interior del edificio donde uno estaba en la oficina debajo de la cubierta vegetada y el otro en el cuarto debajo del techo convencional, ambos conectados a sensores para averiguar: el flujo de calor a través de los techos, la temperatura interna superficial, la temperatura del aire en varias ubicaciones y datos para evaluar los parámetros de confort.

Para obtener el rendimiento energético, se analizaron por comparación los valores individuales de cada parámetro térmico en las diferentes estaciones registrados en las dos partes de la cubierta concluyendo de forma general que el techo verde supera al techo de referencia convencional porque reduce la demanda diaria de energía a razón del flujo de calor diario a través de la superficie vegetada.

- Es evidente el beneficio a causa del sombreado de las plantas durante los meses de mayo a septiembre. De hecho, ese sombreado sobre el suelo permite disminuir la radiancia solar incidente en la superficie externa del techo, reduciendo así la temperatura y la ganancia de calor a través de la cubierta. Se comprueba al comparar la radiación solar global en la superficie horizontal y la radiación solar medida debajo del follaje.
- La reducción del pico de irradiación solar observado en el techo verde es de 71.78% el 14 de mayo, de 38.42% el 16 de Julio y 62.25% el 14 de agosto. Estos datos se evidencian por la comparación entre la temperatura seca del aire versus la temperatura debajo del follaje observado durante los días mencionados en el 2008. Además, la reducción de la radiación solar diaria sobre la cubierta verde es para los mismos días de 83.84%, 81.22% y 86.63% respectivamente.

Ilustración 17 Techo verde en el Consejo Regional de Marche y sistema de medición. Fuente: Fioretti, R. Palla, Lanza, L. G. Principi, P. 2010



- Los gráficos de fluctuaciones de temperaturas diarias del techo convencional de concreto y aquellos debajo del sistema vegetado se obtienen comparando la temperatura de la superficie externa de ambos techos. Utilizando un sensor debajo de la capa de drenaje directamente en contacto con la

membrana impermeable muestran que el techo verde tiene una menor temperatura a causa de la sombra de las plantas, el aislamiento y la evapotranspiración.

Mientras que en Italia se apoyaron en sensores y estaciones meteorológicas para medir rendimientos de gestión de aguas y beneficios energéticos en edificios, a escala urbana, en dos ciudades asiáticas y una europea (ver tabla 9) se apoyaron en un programa holandés para medir la cantidad de agua descargada en un área urbana y luego contrastar con mapas de medición del PET (Physiological Equivalent Temperature) averiguando los hot spots: aquellos lugares de gran estrés térmico potencial, concluyendo que áreas de alta densidad con pavimento impermeable no solo son espacios con altas temperaturas sino que son puntos susceptibles a inundación durante tormentas contrario a aquellas áreas verdes que son más frescas (Lin, Kluck, Boogaard, Chen, & Vojinovic, 2017).

Tabla 9 Registro de las tres ciudades estudiadas. Fuente: Elaboración propia a partir de T. Lin y J. Kluck 2017

Tainan (Taiwan)	Groningen (Netherlands)	Ayutthaya (Tailand)
175.6 km²	83.69 km²	14.84 km²
2 millones de habitantes	+200.000 habitantes	70.000 habitantes
18- 30 °C	2- 16 °C	+ 30 °C
Mayor precipitación en Junio- Agosto (temporada de tifones)	Lluvias constantes durante todo el año	Clima tropical monzónico

En la ilustración 18, se muestra un ejemplo del modelo que la herramienta Calamity Levels Of Urban Drainage Systems (CLOUDS) arroja de cómo fluye el agua mientras va llenando las áreas con los puntos más bajos. Como resultado de ubicar en un programa de sistema de información geográfico un Digital Elevation Model (DEM) del lugar, se obtiene un mapa con la localización de los puntos de actuación prioritaria, es decir, aquellas zonas vulnerables a inundación por aguas pluviales. La cantidad de agua sobre la superficie del suelo (calles, parques y jardines) es indicada con el color azul mientras que el rojo significa las depresiones rellenas con más de 1 m de agua.

A través de la superposición de mapas y datos extraídos de los hot spots, se demuestra que el uso del suelo y el recubrimiento de este están altamente relacionados con las condiciones térmicas en las áreas estudiadas. Además, cuando se superpone el mapa de heat stress e inundación urbana se obtienen casi las mismas ubicaciones vulnerables a los efectos del cambio climático (ver ilustración 19). Por tanto, tomar medidas para prevenir o reducir inundaciones y disminuir la temperatura urbana puede llevarse a cabo al mismo tiempo, dotando a las ciudades de más zonas verdes o permeables, ya que estas áreas incrementan la evaporación y proveen lugares para retener temporalmente el exceso de aguas pluviales.

Los pavimentos permeables (ver tabla 10) pertenecen al grupo de materiales que contribuyen a aumentar las áreas permeables ya que son estructuras portantes que, a parte de permitir el paso de peatones y vehículos, permiten la filtración de escorrentía hacia una capa inferior de almacenamiento temporal (subase), compuesta por gravas, celdas y/o cajas reticulares, en otras palabras, almacena y evacúa la escorrentía por infiltración a través de drenes. Generalmente, se utilizan en carreteras de bajo tráfico, estacionamientos, entrada de vehículos, plazas peatonales y pasillos.

Ilustración 18 Inundación por lluvias en un evento de 60 mm/ 1h en Bellemysstraat, Amsterdam; Rojo: por encima de 1m de agua deprimida. Fuente: Amsterdam Rainproof

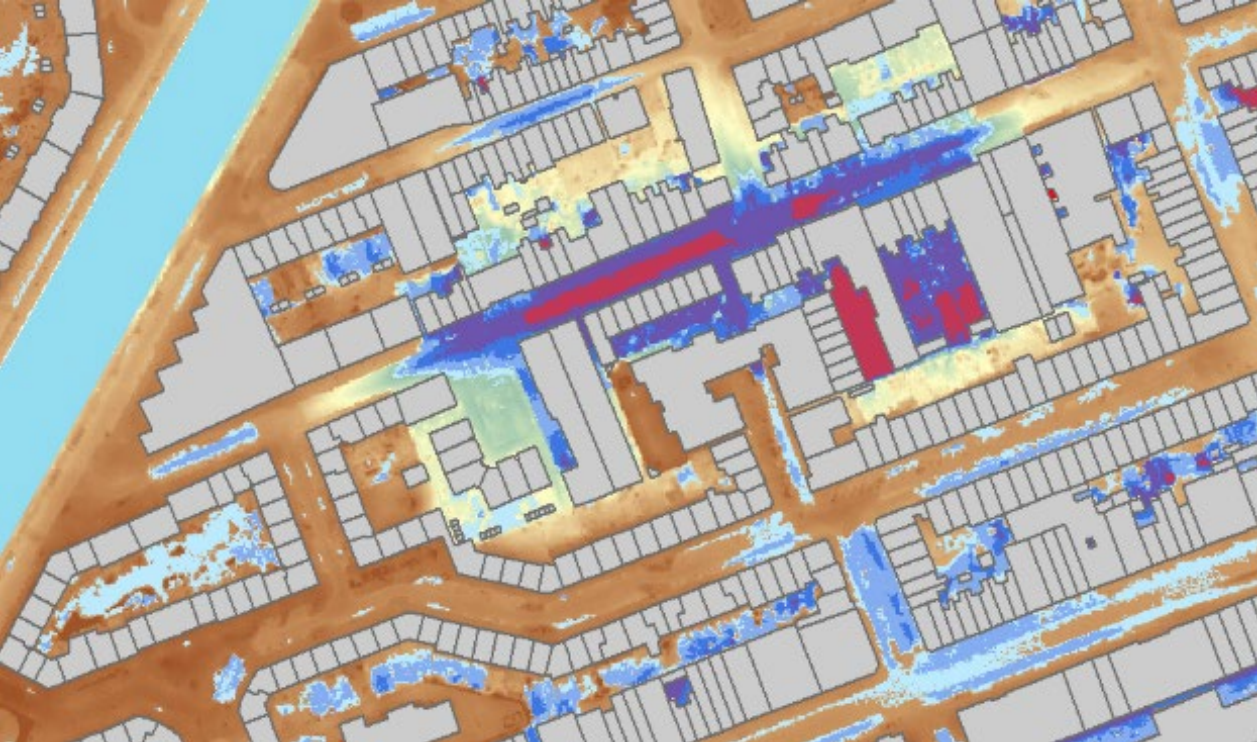


Ilustración 19 Mapa de inundación de Groningens mapa de heat stress superpuesto al de inundación. Fuente: Amsterdam Rainproof



Tabla 10 Valoración de la técnica de Pavimentos permeables. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía

Técnica	Determinantes	Limitantes	Recomendaciones	Beneficios
Pavimento Permeable	Permeabilidad del pavimento \geq 2,500 mm/h Para evacuar por infiltración se necesita una permeabilidad \geq 10-6 m/s El vaciado del agua almacenada en la subbase debe producirse en un plazo inferior de 48 horas	No instalarse en lugares con tráfico de vehículos pesados, lugares con alta carga de sedimentos ni zonas de muchos árboles Se reduce su permeabilidad con la exposición de sedimentos, especialmente los finos No está permitido dirigir la escorrentía de áreas vegetadas hacia el pavimento permeable	Para aumentar el volumen de almacenamiento temporal cuando hay pendientes elevadas (del orden de 5 – 10%) se pueden construir terrazas Instalar una lámina geotextil entre el terreno natural y el material de la subbase	Reduce el caudal punta Disminuye el volumen de escorrentía Mejora la calidad del agua porque retiene sedimentos, aceites, grasas, metales pesados y algunos nutrientes Reduce el área dedicada exclusivamente a la gestión de escorrentía Variedad de diseños y flexibilidad para adaptarse a entornos urbanos

Hay varios tipos de pavimentos permeables (ver tabla 11): los adoquines de bloques de hormigón permeable, sistema de rejilla de plástico u hormigón (adoquín de rejilla), hormigón permeable y asfalto poroso. Dependiendo del suelo nativo y las restricciones físicas se diseñan Sin drenaje: para una infiltración total, Con drenaje: para una infiltración parcial, Con revestimiento impermeable y drenaje: para que no haya infiltración o haya retención e infiltración.

Sin embargo, si se va a hacer uso de pavimentos permeables con el fin de atacar la mejora del clima urbano y la gestión de aguas pluviales, debe ser tomada en cuenta la contextualización del área puesto que, de ignorarse, podría tener poco o ningún efecto de enfriamiento en el aire. Esto quedó demostrado en un estudio realizado por Chicago Department of Transportation’s (CDOT) del Green Alley Program (GAP) en Estados Unidos, donde compararon cuantitativamente cómo la temperatura del aire es susceptible al uso de pavimentos permeables versus al uso de pavimento convencional (Coseo & Larsen, 2015).

El estudio lo hicieron en cinco vecindarios de la ciudad de Chicago a los que se le han aplicado el GAP que son un conjunto de técnicas para alcanzar un buen manejo de la escorrentía y mitigar la isla de calor urbano. Estas técnicas van desde incrementar la cubierta vegetal, instalar techos verdes, utilizar pavimentos permeables (adoquines, concreto y asfalto) y con albedo alto hasta mejorar la nivelación y canalización de las aguas de lluvia.

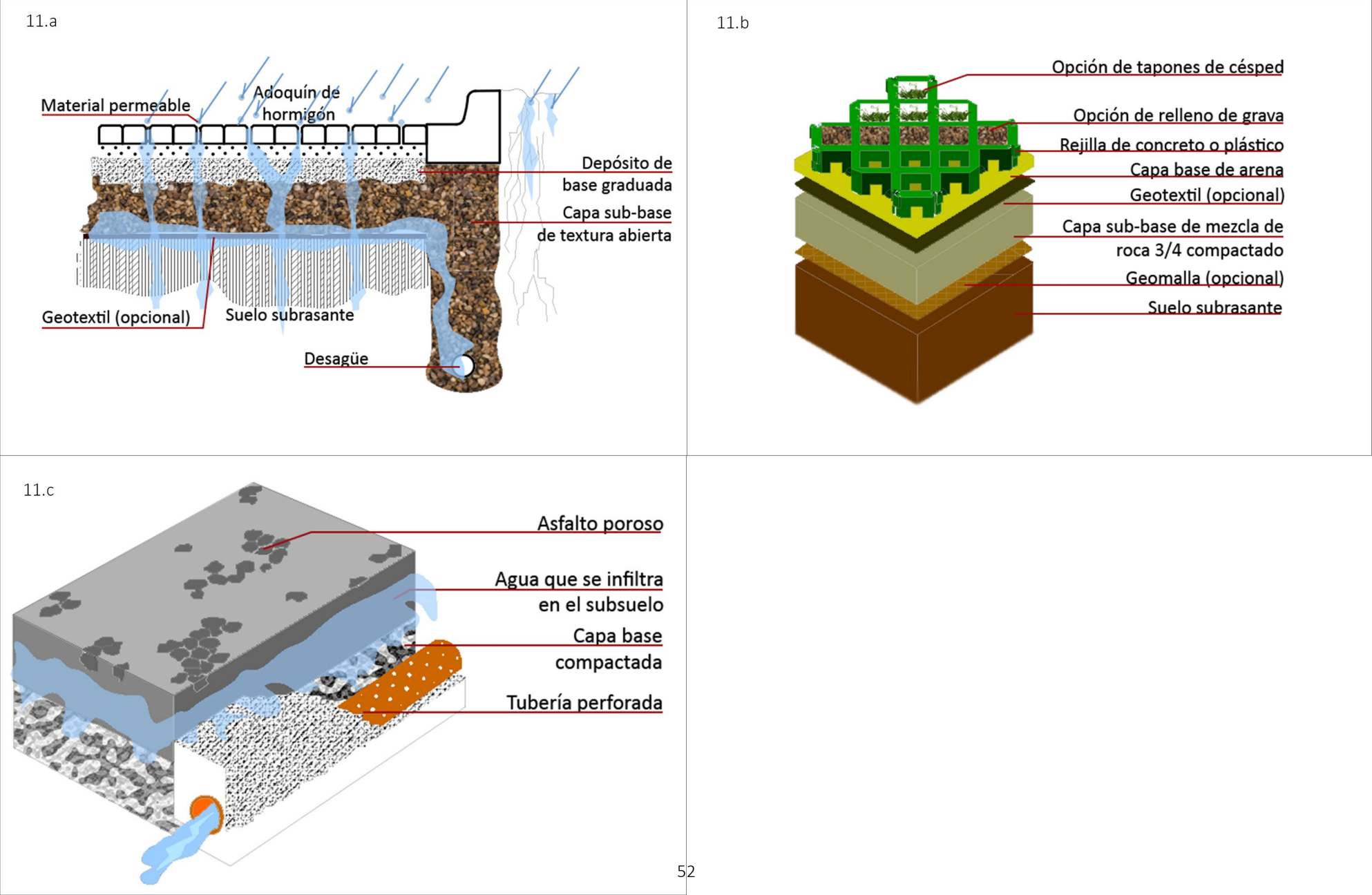
El objetivo fue comparar la temperatura del aire sobre concreto reflectante, asfalto poroso, concreto poroso y adoquín de hormigón poroso con la temperatura del aire sobre asfalto convencional y se plantearon tres preguntas:

- i. ¿Explica la temperatura de la superficie del pavimento una porción significativa de la temperatura del aire a 3mts?
- ii. ¿Cómo el albedo influencia la temperatura del aire a 3mts en el asfalto común?
- iii. ¿Disminuye la temperatura del aire sobre el pavimento poroso después de un evento de lluvia?

Antes de dar respuesta a las preguntas, valoraron las propiedades termofísicas e hidráulicas de los tipos de pavimentos a comparar y que aquellos que tengan una reflectividad mayor serán los que menos temperatura de superficie acumulen durante las horas de radiación solar, es decir, son los que mayor albedo tendrán. Por ejemplo, un asfalto convencional oscuro tiene bajos valores de reflectividad y por ende de albedo (0,05) mientras que los concretos con colores claros de alta reflectividad tienen alto albedo (0,26) y con respecto a un asfalto convencional tiene hasta 16 °C menos de temperatura.

Como caso de estudio tomaron los vecindarios de Austin (concreto de albedo alto), Little Italy (concreto de albedo alto), Bronzeville (adoquín de hormigón poroso), East Side (concreto poroso) y Beverly (asfalto poroso) y sus equivalentes con asfalto convencional y midieron el % de impermeabilidad de la superficie, el % de copa de los árboles, la relación entre el ancho y el alto de la calle y el sky view factor. Era preciso controlar el factor del viento y de los días lluviosos y despejados. Por esto, tomaron medidas cuatro días soleados seguidos y 4 días con pronóstico de lluvia seguidos. Encontraron que siempre que se conserve una velocidad de viento < 1.21 m/s la temperatura de la superficie del pavimento explica una porción significativa de 76% la temperatura del aire a 3mts, pero si el rango está dentro de 1.21 y 1.54 m/s entonces explicaría sólo un 50%. Sucedió que los vientos menores a 1.21 m/s eran más comunes de noche entonces la temperatura de la superficie tendría mayor influencia a 3mts del aire durante la noche con relación al día. Examinando los datos, los autores Coseo y Larsen, 2015 concluyen que referente al asfalto convencional, la temperatura del aire en los dos casos de callejones (alleys) que tienen concreto con albedo alto eran de 0.5 °C a 1 °C más cálidos durante el día. Sin embargo, al contextualizar los datos con la velocidad del viento se hace difícil saber si el aire era afectado en su mayoría por la temperatura de la superficie puesto que solo lo explicaría en un 50%, el resto puede verse afectado por las paredes, techos y fuentes de calor antropogénicos. Otro hallazgo fue que no hubo diferencia significativa en el cambio de la temperatura del aire durante las mediciones de días soleados versus los lluviosos. En Chicago el pavimento permeable fue instalado con el objetivo de mejorar el manejo de escorrentías, pero parece no tener una contribución contundente al efecto de la isla de calor urbano, por tanto, usar pavimento permeable para aliviar el heat stress puede funcionar siempre que se controlen aspectos antropogénicos alrededor. El estudio sugiere además que la alta reflectividad o algo de albedo en el suelo de áreas densas urbanas sin considerar la geometría de los cañones urbanos no serviría de nada al enfriamiento del aire.

Tabla 11 Representación gráfica de la técnica de Pavimentos permeables. Fuente: Elaboración propia a partir de bibliografía



METODOLOGÍA

PARTE I REVISIÓN LITERARIA Y RECOPIACIÓN DE DATOS

Partes	Enfoque	Objetivo	Entidad de apoyo	Documento Base	Resultado
I_Revisión literaria y recopilación de datos	General	<ul style="list-style-type: none">-Identificar cómo el cambio climático conduce a las ciudades a ser vulnerables en especial en situaciones de inundación y cómo afectan económicamente-Inundaciones pluviales, del tipo <i>flash flood</i> y sus causas-Clima urbano y ciudades resilientes.	Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Naciones Unidas	Informe especial del IPCC 2018 Visor de Escenarios de Cambio Climático (AdapteCCa.es) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) World Cities Report 2016 de las Naciones Unidas Objetivos de Desarrollo Sostenible Agenda 2030	Antecedentes Marco Teórico
	Municipio del Maresme	<ul style="list-style-type: none">-Conocer las causas, la frecuencia y las pérdidas por inundaciones pluviales en el Maresme-Justificar las ciudades de estudio-Conocer aspectos fisiográficos, hidrológicos y climatológicos del Maresme-Conocer aspectos demográficos del Maresme-Identificar zonas inundables en el Maresme-Conocer la conformación del uso de suelo del Maresme-% de impermeabilidad del Maresme	Agencia Catalana del Agua (ACA) Ministerio para la Transición Ecológica Estrategia Catalana de Adaptación al Cambio Climático horizonte 2013-2020 Servicio meteorológico de Cataluña (meteocat) Instituto de Estadística de Cataluña (IDESCAT) Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalitat de Cataluña Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables Copérnicus Land Monitoring Service	Plan de Gestión de Riesgo de Inundación (PGRI) Plan Especial de Emergencias por Inundaciones de Cataluña (INUNCAT) Mapa Urbanístico de Cataluña (MUC) Mapa de inundabilidad bajo criterios geomorfológicos Cartografía Impreviousness 2.006-2.015	Antecedentes Delimitación de área de estudio Cartografía base de: usos de suelo, cuenca hidrográfica, área de riesgo potencial de inundación, umbral de escorrentía, Digital Terrain Model (DTM) Inundabilidad vs áreas impermeables
	Alternativas que mitigan el riesgo	<ul style="list-style-type: none">-Clasificar las <i>buenas prácticas</i> como alternativas de mitigación de inundaciones pluviales-Estudiar prácticas que favorezcan al clima urbano mediante el uso de vegetación	U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) The Nature Conservancy United Nations Environment Programme (UNEP) International Union for Conservation of Nature (IUCN) SUSDRAIN	Green Infrastructure guide Low Impact development stormwater management planning and design guide Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los recursos Hídricos 2018 CIRIA guidance	Cuadro de clasificación de metodologías de <i>buenas prácticas</i> teniendo en cuenta el uso de vegetación y las técnicas en común

PARTE II EL CASO DE ESTUDIO Y LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS

Partes	Enfoque	Objetivo	Entidad de apoyo	Documento Base	Resultado
II_Caso de estudio y la selección de técnicas	Riera del caso de estudio	-Identificar un grupo de municipios que se vean afectados por una misma riera y trazar el recorrido de ésta -Hacer la radiografía de la riera usando la base cartográfica del MUC, inundabilidad, escorrentía e impermeabilidad -Caracterizar por dimensión, vegetación e impermeabilidad la riera -Reconocer su entorno	Las utilizadas en el enfoque del municipio del Maresme y Alternativas que mitiguen el riesgo	Las utilizadas en el enfoque del municipio del Maresme y Alternativas que mitiguen el riesgo Google street view	Clasificación de las rieras por tramos Recorrido fotográfico de los tramos Reconocimiento del entorno calificaciones de suelo más vulnerables a inundación
	Tramos de la riera estudiada	-Hacer un “zoom in” a un segmento de un tramo de la riera estudiada para Identificar qué <i>buenas prácticas</i> se podrían aplicar en caso de flash flood -Escoger técnicas de acuerdo al objetivo a alcanzar con el manejo de aguas			Clasificación de buenas prácticas para mitigar el riesgo de inundación y favorecer el clima urbano válidas para el caso de estudio

PARTE III RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

III_Recomendaciones y conclusiones	Específicas	-Demostrar que es vital conocer las características del entorno antes de aplicar técnicas basadas en la naturaleza porque	Agencia Catalana del Agua (ACA)	Visor de Espais Fluvials Google Street view Estado del Arte	Recomendaciones específicas
	Generales	-Entender que las <i>buenas prácticas</i> no aplican para situaciones generales puesto que hay variables dependientes e independientes que alteran el resultado -Destacar las ventajas económicas que tiene la aplicación de estas prácticas			Conclusiones del estudio

ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO

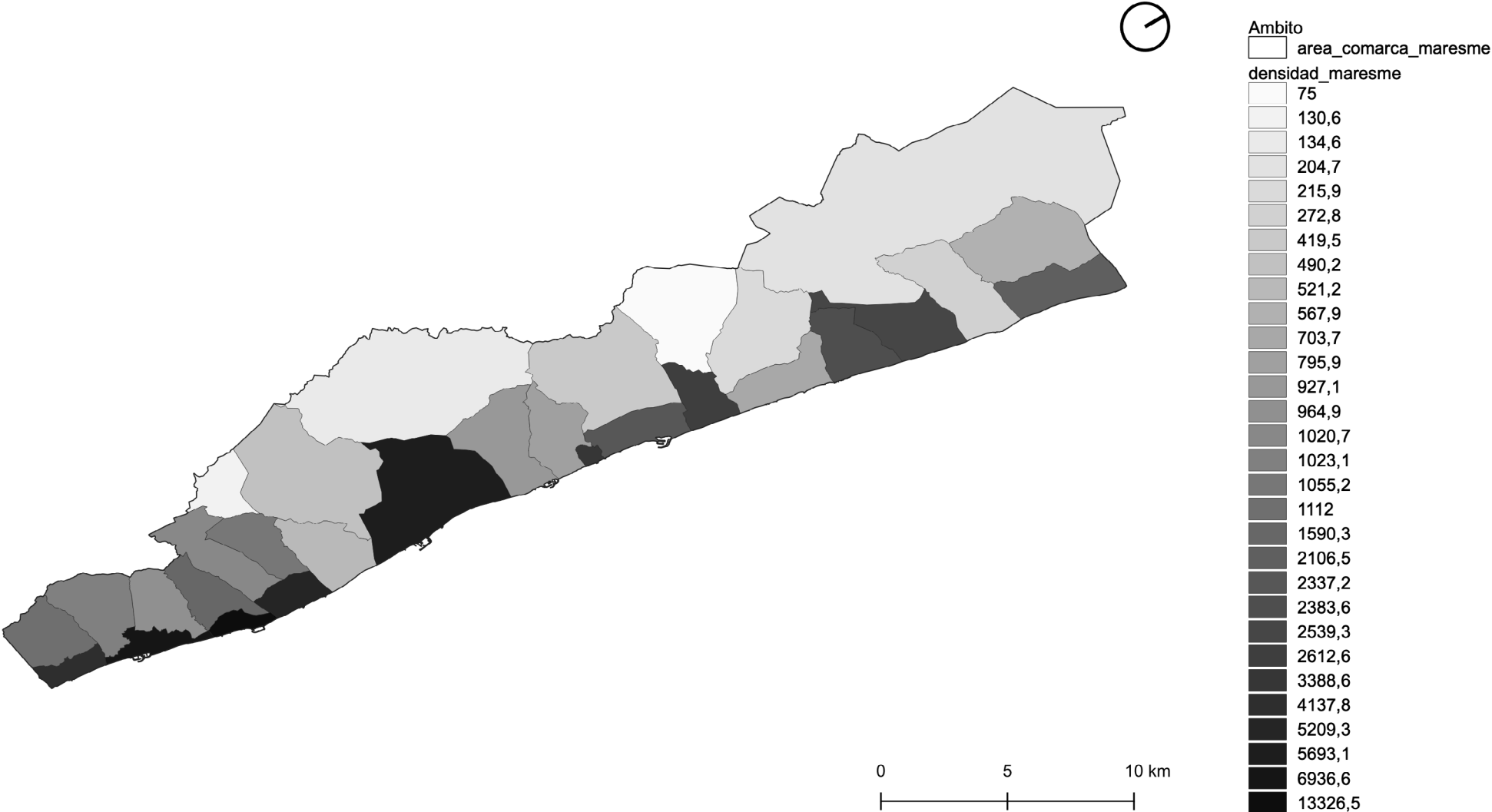
LAS RIADAS DEL MARESME

La comarca del Maresme ubicada sobre el litoral catalán hace parte de la provincia de Barcelona, con un área de 398.53 km2 y una población total de 447,828 habitantes; tiene una tasa de crecimiento poblacional total (sobre la población media por 1,000 habitantes) para el 2017 de 8.23% que es 1.4 veces mayor que el Barcelonés y 1.3 veces mayor que el crecimiento de Cataluña. El Maresme está conformado por 30 municipios donde al menos la mitad son costeros y como se observa en la ilustración 20, son los más densos sin ser los más extensos. Mataró (ver tabla 12) es la ciudad más importante, consta de 126,988 habitantes con una densidad de 5,636 hab/km2 y acoge alrededor del 28% de la población de la comarca. La disposición geográfica de Mataró, Argentona, Cabrera de Mar, Cabrils y Vilassar de Mar las hace clave para estudiar un fenómeno que ocurre en la época de temporales en Cataluña: las riadas, avinguda (avenida) o alluvió (aluvión) a razón de que estos municipios son atravesados por una misma riera así: Argentona, Cabrera de Mar y Mataró comparten la riera de argentona y Vilassar de Mar junto a Cabrils, la riera de Cabrils. Básicamente una riera es la acumulación localizada de agua por fuertes lluvias que se desplazan dentro de la ciudad y afectan de forma importante a las personas, vías de comunicación, servicios básicos, bienes o pueden producir un efecto dominó. Sin embargo, en este estudio sólo se analizará los municipios de Cabrils y Vilassar de Mar que comparten la riera de Cabrils.

Tabla 12 Aspectos generales del ámbito de estudio. Fuente: Idescat 2018

Comarca	Población total (hab)	Superficie (km²)	Densidad (hab/ km²)	Altitud (m)
Maresme	447,828	398,53	1,123.7	
Comarca	Población total (hab)	Superficie (km²)	Densidad (hab/ km²)	Altitud (m)
Mataró	126,988	22.53	5,636.4	28
<i>Vilassar de Mar</i>	<i>20,764</i>	<i>4</i>	<i>5,191</i>	<i>10</i>
Argentona	12,295	25.4	484.1	88
<i>Cabrils</i>	<i>7,348</i>	<i>7.05</i>	<i>1,042.3</i>	<i>147</i>
Cabrera de Mar	4,664	8.98	519.37	104

Ilustración 20 Densidad por municipios de la comarca del Maresme. Fuente: Elaboración propia a partir del IDESCAT



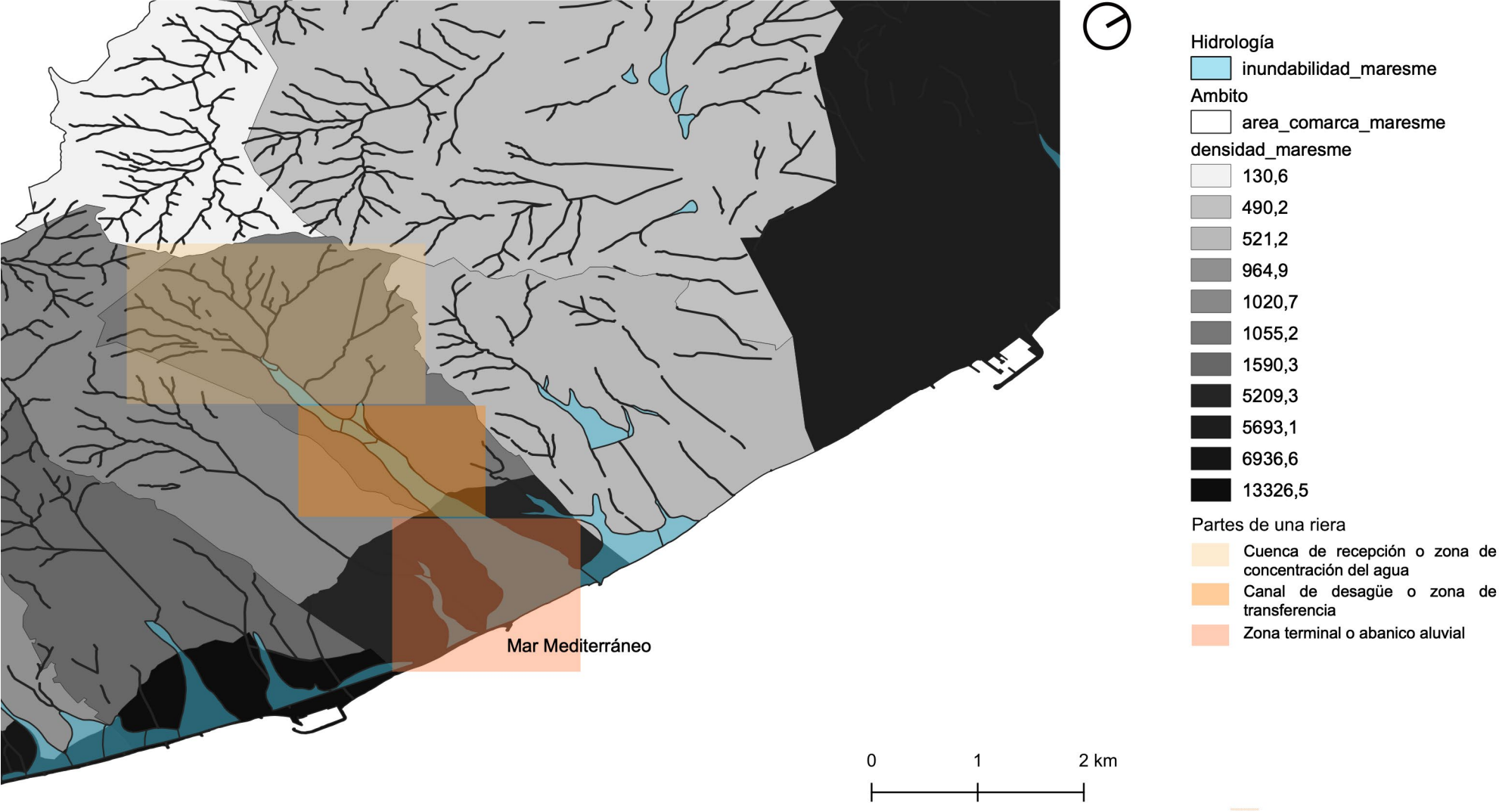
Las riadas se desplazan a través de rieras o arroyos, en el Maresme este término define una cama arenosa que en períodos lluviosos transporta la escorrentía pero que han sido canalizadas “río abajo” con desembocadura en el mar provocando una descarga repentina y violenta de agua en un corto período de tiempo. La formación de las rieras tiene su origen por la disposición de fallas NE-SO en el sistema montañoso ubicado en la cordillera Litoral conformada por la sierra el Corredor y el macizo de Montnegre; se compone de rocas filonianas, materiales pizarrosos y granito que influenciados por el clima mediterráneo ocasiona que sea arrastrado material aluvial hasta la planicie de la costa cuando se presentan fuertes episodios de lluvia. Entonces, geográficamente las rieras o arroyos cortan perpendicularmente la línea de playa o zona plana de la comarca y la red de montañas a pocos kilómetros de la costa.

Las rieras del Maresme constan de las mismas partes que un curso torrencial típico: cuenca de recepción donde el agua se almacena en la cabecera de los arroyos, un canal de desagüe, en este caso, con pendientes pronunciadas por donde corre el agua y un cono de deyección o abanico aluvial, donde desembocan en el mar (ver ilustración 21). Aquellas que drenan directamente en el mar se pueden clasificar en tres tipos (Riba 1997): i) riera de primer tipo o antiguas, que transcurren en su totalidad por encima de unidades geológicas, paleozoicas y graníticas, tienen cuencas entre los 10 y 80 km², como las rieras de Arenys y Sant Pol; ii) rieras de segundo tipo o mixtas, tienen cuencas que no superan los 10 km², presentan dos tramos diferenciados: el primero formado por la cabecera excavada en los materiales graníticos y paleozoicos y el segundo tramo inferior situado por encima de terrenos cuaternarios, que forman un glacis de sedimentación, como por ejemplo la riera de Caldés d’Estrac o la de Sant Vicenç; iii) rieras de tercer tipo o residuales, que son cursos muy cortos que drenan sólo algunos sectores de terreno recientes cuaternarios, como la riera de Cal Costa a Arenys de Mar. Este último tipo actúan principalmente como drenajes locales.

Se entiende que no sólo la intensidad de la precipitación desarrolla un evento de riada, sino que también confluye el desbordamiento de una cuenca que en el caso del Maresme es la Tordera. En cuanto a la intensidad de lluvias, principalmente entre los meses de agosto y octubre ocurren precipitaciones de tipo convectivo a razón de que hay una transferencia de temperatura entre la superficie de la tierra y el aire, por lo que en un inicio se eleva aire cálido y húmedo que luego es enfriado y forma nubes del tipo cumulonimbos. Estas precipitaciones resultan intensas y tienen una estrecha relación con las inundaciones pluviales súbitas, repentinas o “flash flood” (Llasat, Marcos, et al., n.d.). De esta forma, las riadas en la comarca están enlazadas al tipo de inundación súbita local (LFF) especialmente en los municipios del norte (Òrrius, Cabrils, Argentona) en el área de Montnegre, que registran valores más altos de precipitación que el rango medio que indica el Servicio Meteorológico de Cataluña (550 mm y 800 mm).

Al conocer que la razón de las riadas depende de la relación entre características fisiográficas y geológicas con variables climáticas y que a su vez se verá en mayor o menor medida afectada por el uso del suelo, permite partir de la necesidad de conocer estos aspectos en los municipios que intervienen en el caso de estudio resaltando que la forma en la que están agrupados geográficamente produce que desde el inicio hasta el desenlace de la riada repercuta en mínimo dos municipios. Para ilustrar lo anterior, el mapa que muestra las partes de la riera de Cabrils (ilustración 21) se extiende desde el municipio que lleva su mismo nombre hasta Vilassar de Mar, este último se ve afectado además por la riera de Cabrera de Mar la consecuencia es que de acuerdo con el mapa de inundabilidad, el cono de deyección o abanico aluvial que se produce es mucho más amplio y atañe no solo a Vilassar sino a Cabrera, ocasionando estragos como el que se refleja en la ilustración 22 donde un evento de riada causó estragos en la vía N-II a causa del desbordamiento de la riera de Cabrils en el municipio de Vilassar de Mar.

Ilustración 21 Partes de una riera típica (Riera de Cabrils). Fuente: Elaboración propia a partir de Riba 1997



Las rieras o arroyos son el factor común que perturba a más de un municipio a través de las riadas, por lo tanto, conocer la orografía y el uso del suelo en las inmediaciones de las rieras ayudará a entender la problemática a profundidad. Para efectos de este análisis se estudiara la configuración Cabrils – Vilassar de Mar cuyo factor común es la riera de Cabrils que atraviesa a ambas ciudades de oeste a este, en otras palabras, desde el Montnegre hasta el Mediterráneo.

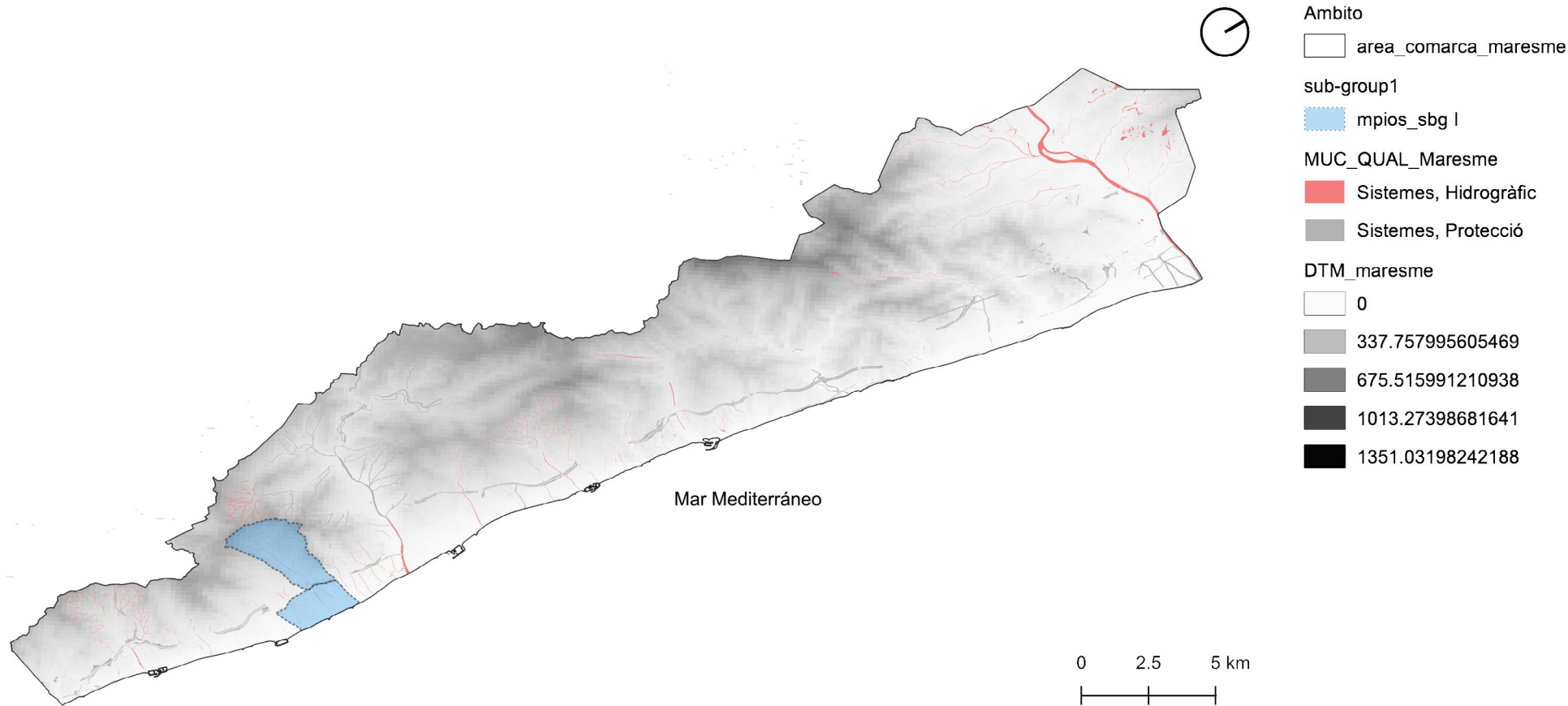
Ilustración 22 Carretera N-II inundada por desbordamiento de riera en Vilassar de Mar en octubre 2016. Fuente: El País



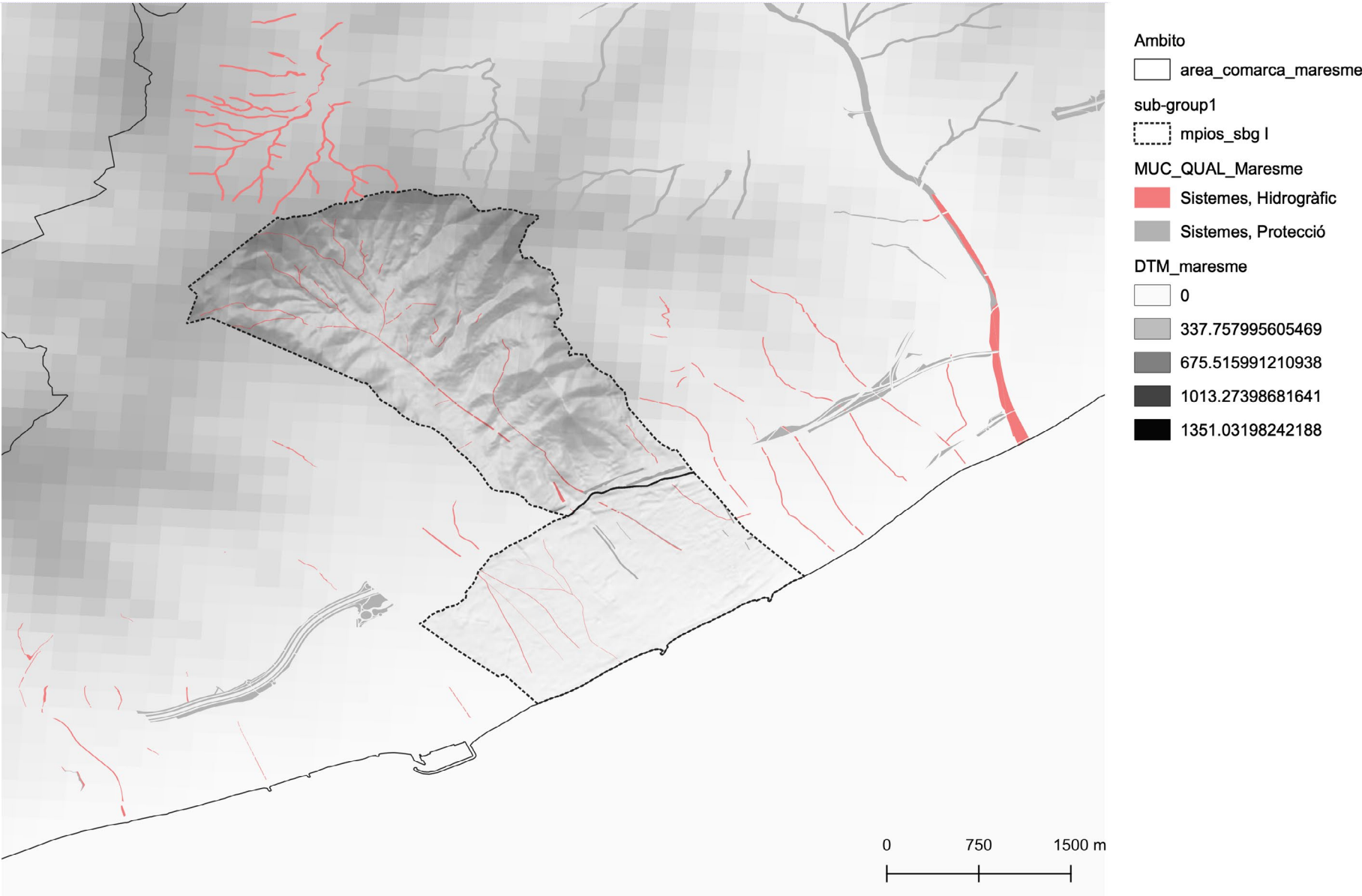
ÁMBITO DE ESTUDIO GRUPO: “RIERA CABRILS” Cabrils - Vilassar de Mar

Cabrils cuenta con una altitud de 147 m sobre el nivel del mar mientras que Vilassar se encuentra a 10 m (ver tabla 12), por esta razón los cuerpos de agua que inician en Cabrils se extienden hasta Vilassar de Mar y desembocan en el mediterráneo visto también en la ilustración 23 y 24 que muestra el Digital Terrain Model (DTM) y se aprecia que la zona de color blanco es el mediterráneo (nivel 0) y a medida que se aleja del mar los pixeles se vuelven más oscuros, lo que representa mayor altura (hasta 675 m); de la misma forma se distinguen las rieras de Cabrils de 5.50 km aproximadamente donde los primeros 3.80 km los recorre a lo largo del municipio de Cabrils, paralelamente está la riera de Cintet que se extiende 4.33 km aproximadamente donde los primeros 2.54 km se desarrollan en Cabrils dando la imagen de la forma alargada que caracteriza al municipio de Cabrils.

Il·lustració 23 Digital Terrain Model de la comarca del Maresme. Fuente: Elaboración propia a partir del ICGC



Il·lustració 24 Digital Terrain Model de Cabrils y Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia a partir del ICGC



En cuanto a la conformación del suelo de Cabrils y Vilassar de Mar el Mapa Urbanístico de Cataluña (ver tabla 13) lo clasifica en suelo urbano, suelo urbanizable y suelo no urbanizable. A continuación, se intenta detallar solo el primero y tercero debido a que predominan sobre el territorio y condicionan la relación que se quiere establecer entre lo construido u ocupado versus las zonas permeables o que son menos intervenidas.

Tabla 13 Conformación del suelo grupo Cabrils - Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019

		Cabrils		Vilassar de Mar	
		08030 Código INE		08219 Código INE	
	Clasificación Urbanística	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
	Área total municipal	689,201	100	401.64	100
	Área Total Suelo Urbano	349,001	50.2	137.74	34.3
SUC	Suelo Urbano Consolidado	342.88		135.55	
SNC	Suelo Urbano No Consolidado	6,121		2.18	
	Área Total Suelo Urbanizable	20.65	2,97	56.25	14
SUD	Suelo Urbanizable Delimitado	3.28		56.25	
SND	Suelo urbanizable No Delimitado	17.37			
SNU	Suelo No Urbanizable	325.55	46,8	207.64	51.7

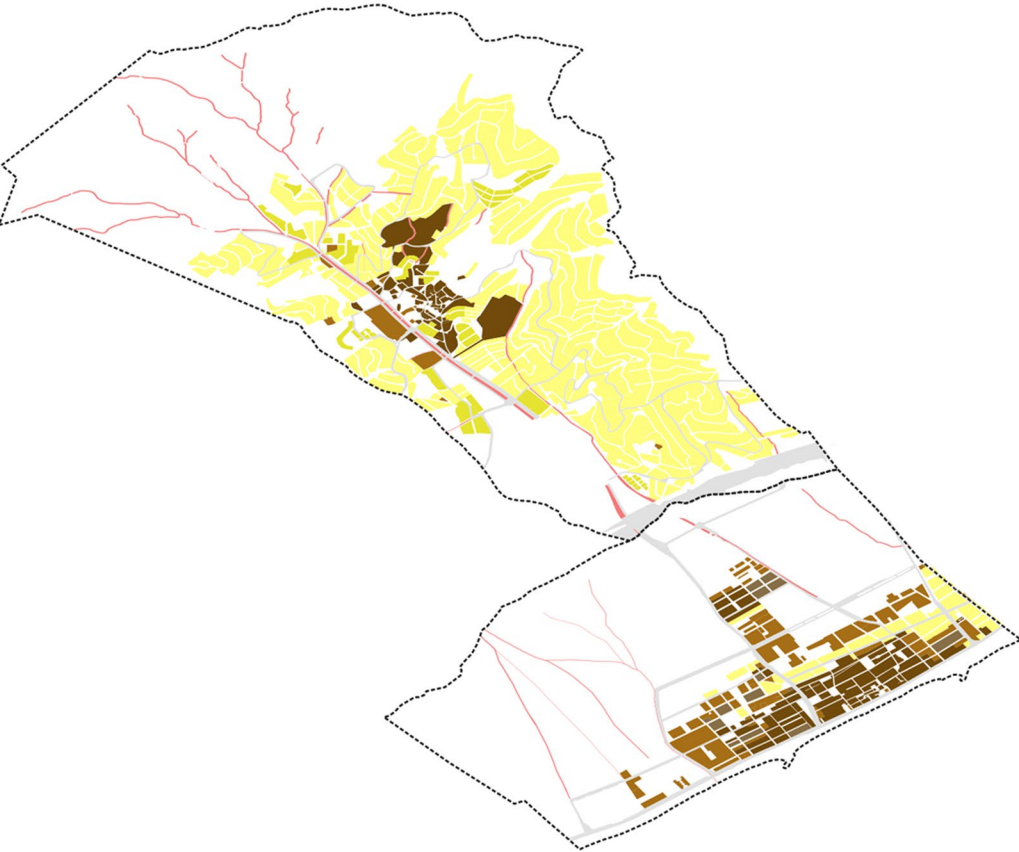
En el caso de Cabrils, el MUC señala que el 50,20% es suelo urbano, 2,97% es urbanizable y 46,8% es suelo no urbanizable mientras que en Vilassar de Mar el mayor porcentaje de suelo sugiere que es no urbanizable (51,7%) frente a 14% urbanizable y 34,3% urbano, sin embargo, tiene una densidad (hab/km2) casi cinco veces mayor a la de Cabrils (ver tabla 12) concentrada en primera línea de mar alrededor de la riera.

El suelo urbano consta de tres calificaciones: suelo residencial, de actividad económica y mixto. Para la primera calificación, el MUC distingue seis categorías: R1 Núcleo urbano, R2 Urbano tradicional, R3 Ordenación cerrada, R4 Ordenación abierta, R5 Casas agrupadas y R6 Casas aisladas de las cuales hay presencia del R1, R3, R4, R5 y R6 en el grupo Cabrils – Vilassar de Mar, este conjunto de categorías hace que el suelo residencial predomine con 48.52% de superficie (Cabrils 32.04% y Vilassar de Mar 16.48%) sobre el territorio de acuerdo a los Datos Básicos Municipales y Comarcales Maresme 2019.

Partiendo del hecho de que la orografía de ambos municipios es diferente esto condiciona el tejido urbano, por ejemplo, en la ilustración 25 se observan imágenes de los tejidos y la localización de las calificaciones a lo largo del grupo donde se aprecia que la formación en retícula caracteriza la disposición de

Ilustración 25 Conformación del suelo residencial. Fuente: Elaboración propia

MUC_Suelo residencial



Cabrils

Vilassar de Mar



las viviendas en Vilassar de Mar para las cuatro calificaciones con poca o nula presencia de zonas verdes, vemos que la R4 Ordenación Abierta (38,610%) y R1 Núcleo Antiguo (34,517%) priman sobre las otras y se ubican en las inmediaciones del mediterráneo; en el caso de las R6 Casas aisladas (19,24%), se alejan del recorrido de la riera principal marcada por el SH Sistema hidrográfico del MUC mostrada en la ilustración y son estas que por normativa hacen referencia a la modalidad de ciudad jardín destinando un determinado porcentaje a espacios libres con tratamiento permeable.

Entre tanto, Cabrils destaca la calificación R6 Casas Aisladas con un 82,77% de superficie dentro del área total de suelo residencial y en menor medida el R1 Núcleo urbano y R5 Casas agrupadas con 18,14% y 15,78% respectivamente. Se observa que las viviendas R6 se esparcen por todo el territorio y solo una pequeña parte bordea la riera contrario a lo que sucede con el R1. En la sucesión de fotografías es evidente que a mayor superficie de parcela mayor porcentaje se destina para zonas permeables verdes. Por último, tanto en Cabrils como en Vilassar de Mar la zona residencial tiene un alto porcentaje dentro del Área Total de Zonas de Suelo Urbano, de 95,722% y 92,859% respectivamente (ver tabla 14).

Tabla 14 Conformación del suelo Urbano: Suelo Residencial. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019

	Calificación Urbanística	Superficie (ha) en Cabrils		Superficie (ha) en Vilassar de Mar	
		08030 Código INE		08219 Código INE	
	Área Total de Zonas de Suelo Urbano	232.68 ha	100%	71.28 ha	100%
	Área Total de Suelo Residencial	222.728 ha	95,72%	66.19 ha	92.86%
R1	Núcleo Antiguo	18.14	8.153%	22.85	34.52%
R3	Ordenación Cerrada			5.03	7.59%
R4	Ordenación Abierta	4.65	2.09%	25.56	38.61%
R5	Casas Agrupadas	15.78	7.09%		
R6	Casas Aisladas	184.14	82.77%	12.74	19.24%

Ilustración 26 Conformación del suelo Mixto. Fuente: Elaboración propia

MUC_Suelo mixto



Cabrils

Vilassar de Mar



Ilustración 27 Conformación del suelo Actividad Económica. Fuente: Elaboración propia

MUC_Suelo actividad económica



Cabriels



Vilassar de Mar



Otra calificación dentro de los suelos urbanos es el uso del Suelo Mixto y Otros que agrupan las subzonas de M1 Transformación, M2 Conservación y M3 Mixtos. En estos municipios sólo se presenta el uso de M1 Transformación en el municipio de Cabriels con 5,95 ha lo que corresponde a un 2,67% de la superficie ocupada dentro del gran total de las zonas de Suelo Urbano (ver tabla 15). Se aprecia en la ilustración 26.

Tabla 15 Conformación del suelo Urbano: Suelo Mixtos y otros. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019

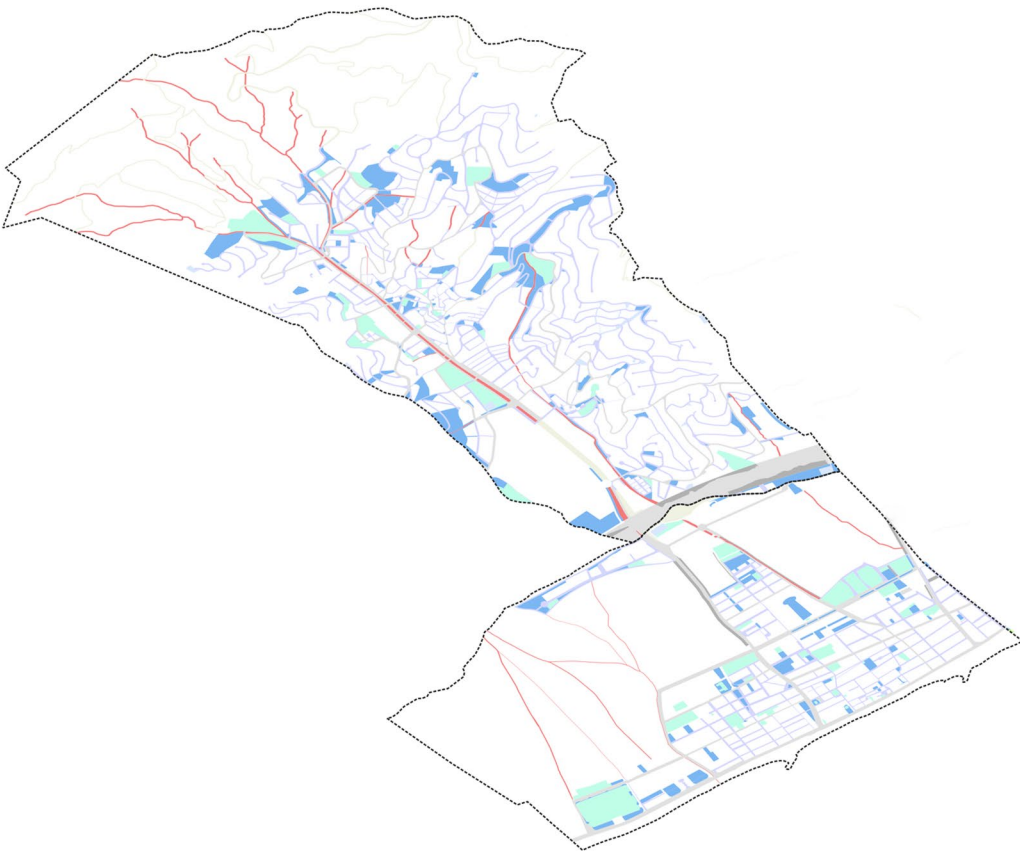
	Calificación Urbanística	Superficie (ha) en Cabriels		Superficie (ha) en Vilassar de Mar	
		08030 Código INE		08219 Código INE	
	Área Total de Zonas de Suelo Urbano	232.68 ha	100%	71.28 ha	100%
	Área Total de Suelos Mixtos y Otros	5.95 ha	2.67%	0 ha	0%
M1	Transformación	5,95	100%	0	0%

La última categoría que contabiliza el total del suelo urbano es la calificación de actividades económicas de las que el grupo destina 9,07 ha a actividad económica industrial y de servicios. En el caso de Cabriels, la A1 Industria es de 2,87 ha (71,84%) frente a 4,84 ha que equivale a un 95,27% de la superficie de esta actividad dentro de Vilassar de Mar. Las zonas marcadas en la ilustración 27 nos muestra que están concentradas en un punto de los municipios, en la cabecera respectivamente y en ambos casos una riera los bordea. En las fotografías aéreas se observa el tipo de construcción cubierta y con poca vegetación.

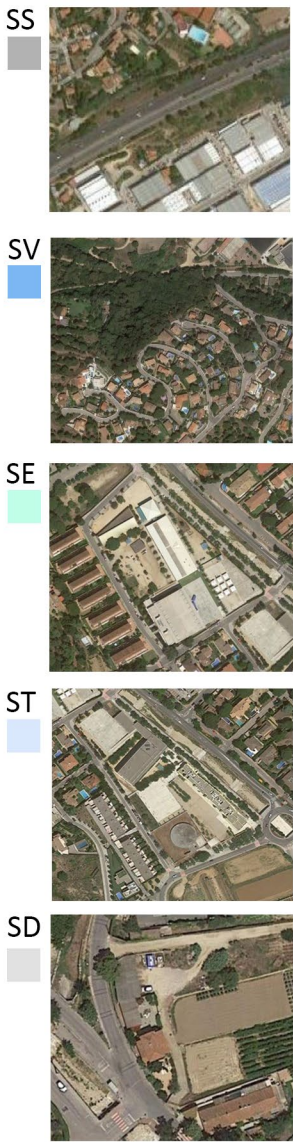
Tabla 16 Conformación del suelo Urbano: Suelo de Actividad Económica. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019

	Calificación Urbanística	Superficie (ha) en Cabriels		Superficie (ha) en Vilassar de Mar	
		08030 Código INE		08219 Código INE	
	Área Total de Zonas de Suelo Urbano	232.68 ha	100%	71.28 ha	100%
	Área Total de Actividad Económica	3.99 ha	1,72%	5.08 ha	7.13%
A1	Industrial	2.87	71.84%	4.84	95.27%
A2	Servicios	1.13	28.27%	0.24	4.72%

MUC_Suelo sistemas de comunicación



Cabriels



Vilassar de Mar



Fuera de las categorías que conforman al Suelo Urbano, el Plan de Ordenación Urbanística distingue a los Sistemas como elementos que definen la organización y estructura de un territorio; son de tipo general con influencia a nivel municipal y de tipo local con influencia en un barrio o sector específico. De esta manera, en la tabla 17 se observan los sistemas calificados en el grupo Cabriels- Vilassar de Mar, las subzonas para cada calificación y el porcentaje que corresponde a cada uno dentro del área total del sistema. Así, el sistema de comunicación con una superficie de 84.09 ha corresponde a un 57.07% del área total de la calificación de Sistemas en el municipio de Cabriels mientras que en Vilassar de Mar es de un 44.67%. Entonces, la suma de los Sistemas de Comunicación, de Espacios libres, de Equipamientos comunitarios y de Vivienda dotacional pública es igual a 147,35 ha, es decir, el 100% de Sistemas.

En ambos municipios el sistema que más superficie ocupa es el SX Viario seguido del de Espacios libres dentro del cuál destaca el SH Sistema Hidrográfico que incluye el área donde está canalizada la riera de Cabriels hasta llegar al Mediterráneo. Aunque no hay datos desglosados en cuanto a los subsistemas SS, SC, SH, SV en el municipio de Cabriels, se aprecia en la ilustración 28 que los SV Espacios libres y zonas verdes predomina junto a SE Equipamientos.

Tabla 17 Conformación del suelo: Sistemas. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019

	Calificación Urbanística	Superficie (ha) en Cabriels		Superficie (ha) en Vilassar de Mar	
		08030 Código INE		08219 Código INE	
	Área Total Sistemas	147.35 ha	100%	99.35 ha	100%
	Área Total Sistemas de comunicación	84.09 ha	57.07%	44.38 ha	44.67%
SX	Viario	84.09	100%	44.38	100%
	Área Total Sistema de Espacios libres	45.66 ha	30.99%	35.59 ha	35.82%
SS	Protección			2.36	6.63%
SC	Costero			17.37	48.81%
SH	Hidrográfico			3.08	8.65%
SV	Espacios libres y zonas verdes			12.77	35.88%
	Área Total Sistemas de Equipamientos comunitarios	17.5 ha	11.89%	19.16 ha	19.29%
SE	Equipamientos	15.387	87.92%	18.82	98.22%
ST	Servicios técnicos y ambientales	2.112	12.07%	0.34	1.77%
	Área Total Sistemas de Vivienda dotacional pública	0.1005 ha	0.07%	0.21 ha	0.21%
SD	Vivienda dotacional pública	0.1005	100%	0.21	100%

Hablar del SH sistema hidrográfico es hablar del conjunto de cauces de rieras y escorrentías delimitadas por la cota de inundación de la avenida en el periodo de retorno de 10 años y en caso de no estar definida, los criterios topográficos (taludes y muros), físicos (ámbito) o ambientales (vegetación de la ribera) lo delimitarán. La normativa menciona que tendrán una anchura mínima de 8 m y un área de servidumbre de 5 m desde el margen (POUM Cabrils 2017).

En las ilustraciones (25, 26, 27) que desglosan por calificación el uso del suelo del grupo, aparece marcada el SH como una constante con color rosa para conocer el recorrido de la riera. Es claro que forma una ramificación con otros cauces y divide a los municipios lo que significa que las márgenes de éstos se ven obligadas a conectarse por puentes ya que no está soterrada. El POUM asegura que en el suelo urbanizable se establecerán las condiciones necesarias para que las edificaciones se sitúen en cotas tales que se produzca inundación moderada con la avenida de 500 años siguiendo las determinaciones que establezca la administración hidráulica y en caso de no contar con el espacio suficiente para garantizarlo, se canalizarán los arroyos para avenidas de 500 años de retorno.

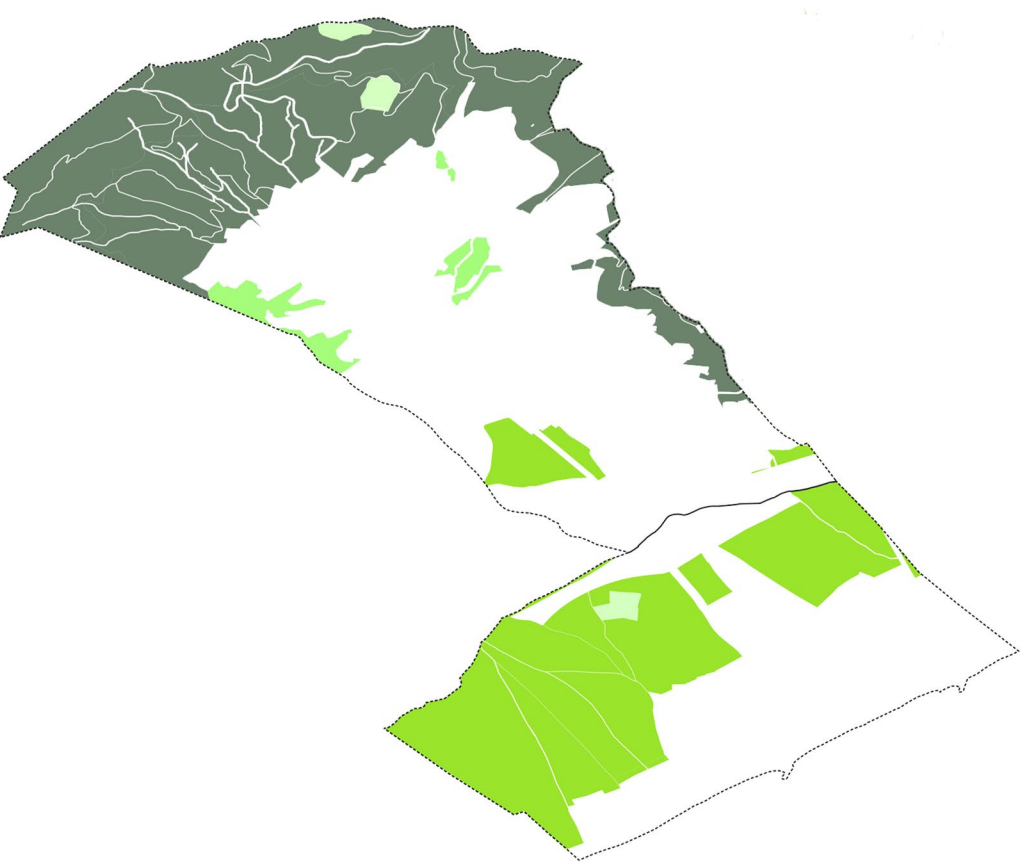
El POUM también establece que interrumpir los torrentes o variar su dirección a través de eliminación de su vegetación o haciendo movimientos de tierra para ampliar los cultivos alrededor está prohibido así como suprimir los caminos que discurren por su cauce y que alteren su capacidad de desagüe a menos que sea impuesto por una autoridad ambiental, además, como criterio general, hay que evitar la impermeabilización de los mismos.

Tabla 18 Conformación del suelo No Urbanizable. Fuente: Elaboración propia a partir del MUC Datos básicos municipales y comarcales Maresme 2019

	Calificación Urbanística	Superficie (ha) en Cabrils		Superficie (ha) en Vilassar de Mar	
		08030 Código INE		08219 Código INE	
	Área Total de Suelo No Urbanizable	325.55 ha	100%	207.64 ha	100%
	Área Total de tipo de suelo No Urbanizable	294.665 ha	90.51%	197.53 ha	95.13%
N1	Rústico	18.83	8.153%	194.39	98.41%
N2	Protección	19.27	6.54%		
N3	Protección Sectorial	251.15	85.23%		
N4	Actividad Autorizada	5.41	1.84%	3.14	1.59%

Ilustración 29 Conformación del suelo No Urbanizable. Fuente: Elaboración propia

MUC_Suelo no urbanizable



Cabrils



Vilassar de Mar



Por último, el MUC califica el suelo No urbanizable en suelo N1 Rústico, de N2 Protección, de N3 Protección Sectorial y N4 Actividad autorizada, éstas son áreas del territorio municipal que destacan por sus características de interés agrario, forestal, ecológico o paisajístico o que se han considerado como no aptas para el desarrollo urbano. La tabla 18 muestra que Cabrils califica su territorio con las cuatro categorías y la superficie de éstas es superior a la de Vilassar de Mar. La N3 Protección sectorial representa un 85,23% dentro del total de este tipo de suelo no urbanizable que de acuerdo al POUM de Cabrils, son suelos que deben quedar libres de cualquier edificación o instalación, deben estar ajardinados o ser destinados a uso agrícola sin ser edificadas por razón de proteger las infraestructuras como la protección de autovías o carreteras y que cuando se trate de esta última, estarán sujetos a la determinación de la Ley de Carreteras.

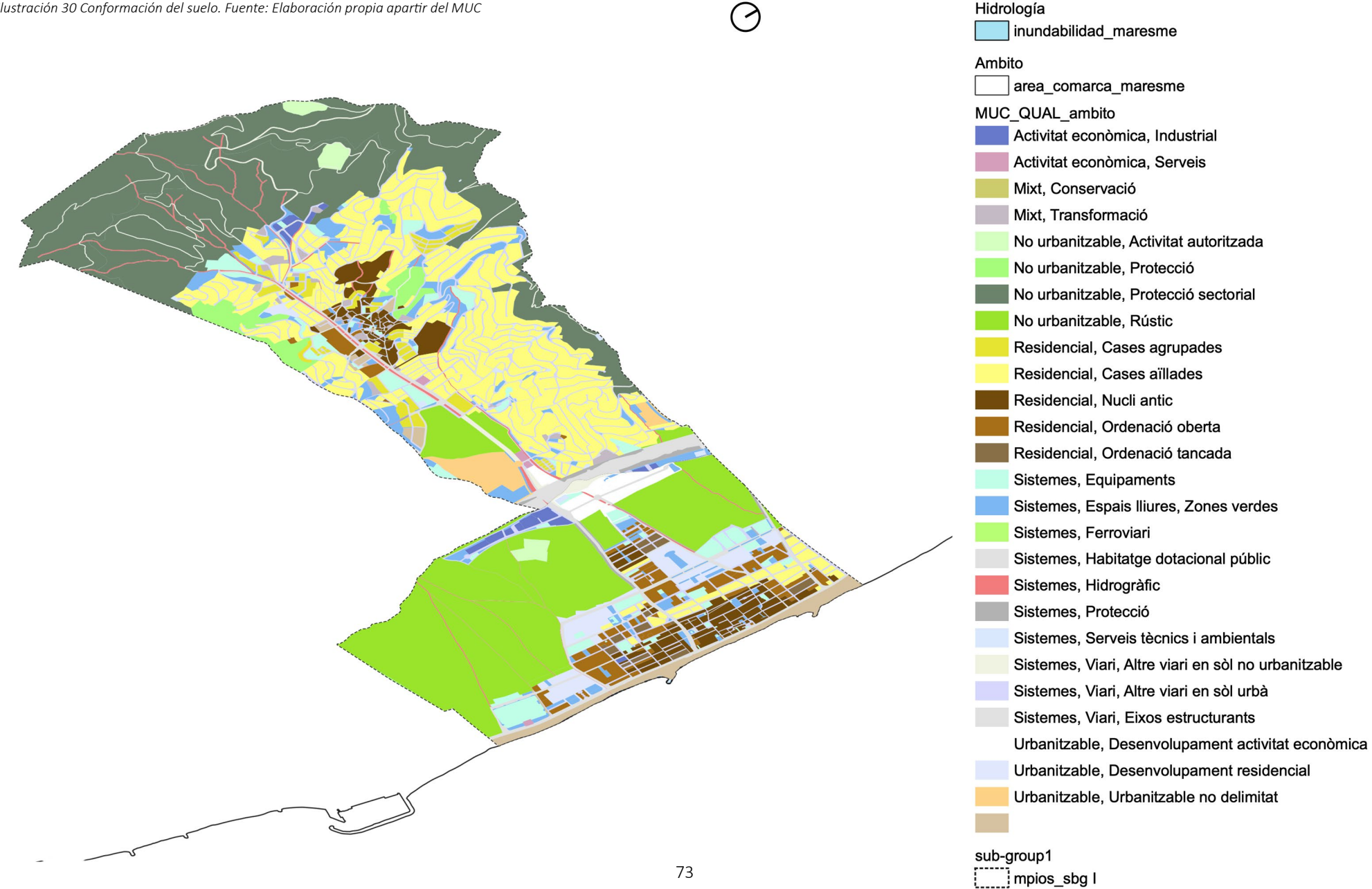
El suelo N1 Rústico en Vilassar de Mar encabeza la mayor superficie dentro de esta calificación urbanística con 194,39 ha, es decir 98,41% del área total de suelo No Urbanizable en Vilassar de Mar. Se trata de suelos que quieren preservarse por su capacidad agrícola y que tienen un mínimo de construcción para los espacios requeridos que potencialicen la actividad agrícola y para los trabajadores.

La ilustración 30 enseña la conformación de clasificación del suelo del grupo donde reúne las calificaciones comentadas anteriormente y sobre ésta se superpone la base cartográfica de Zonas Inundables Geomorfológicamente que aporta la Agencia Catalana del Agua ACA (ver ilustración 31) para comprobar cuales son las zonas de mayor riesgo de inundación lo que nos permite acotar aún más el área de estudio. En base a ésto, se hace un recorrido sobre la riera, tomando como herramienta de apoyo:

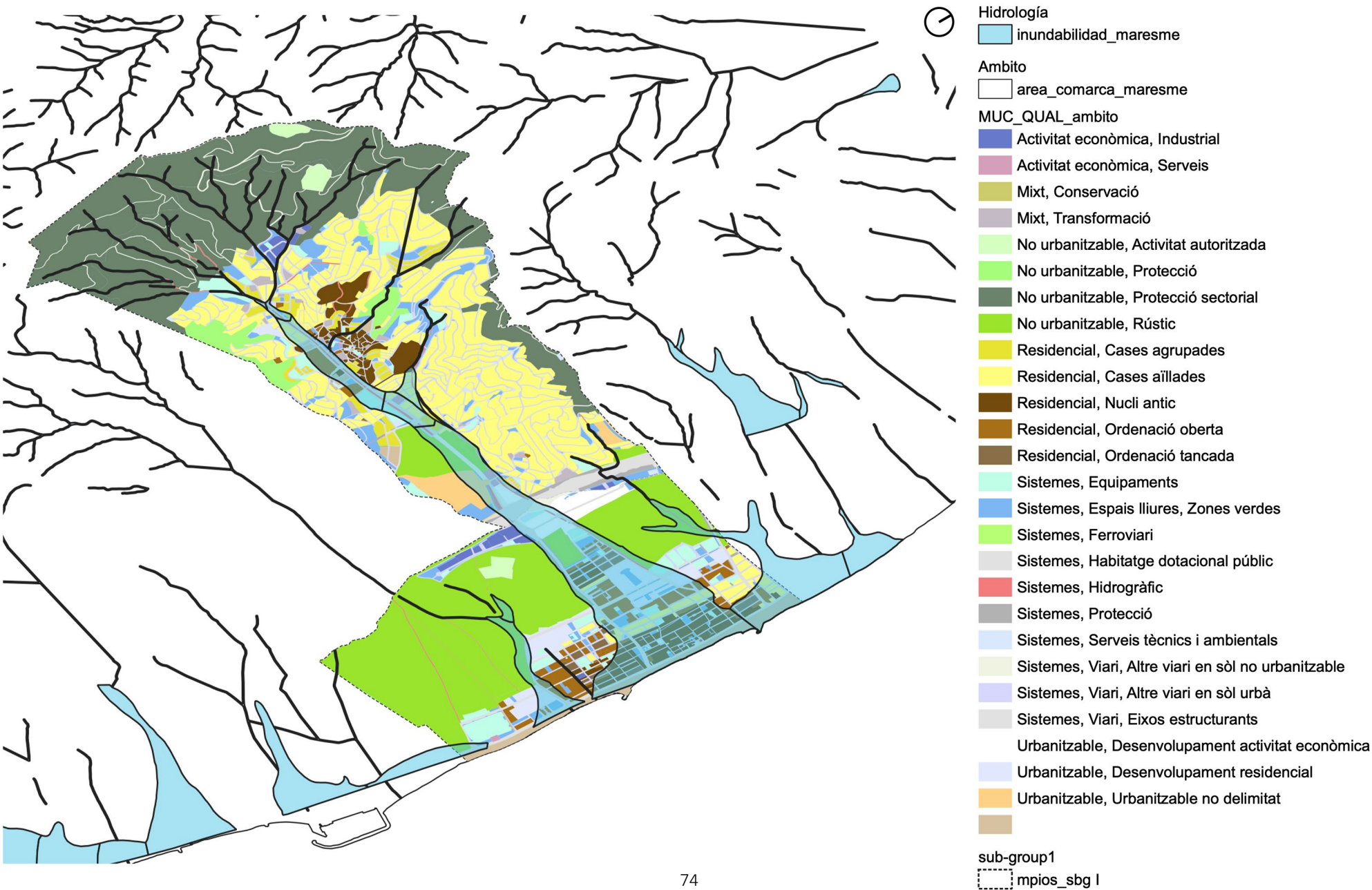
- _el MUC
- _el POUM de Cabrils y PGO de Vilassar
- _mapa de % de impermeabilidad obtenido de la plataforma Copernicus Land Monitoring Service
- _mapa de umbral de escorrentía obtenido del ACA
- _Recorrido fotográfico por las rieras

El recorrido por la riera de cabrils proporciona un reconocimiento del espacio físico, así como relacionar los usos asignados al suelo y las edificaciones existentes, adicionalmente, una consecuencia es que ésto otorgue un primera percepción de cómo la comunidad convive con la presencia de este cauce. El resultado, se ve en las ilustraciones 34, 36, 38, 40, 41 donde la primera conclusión que surge luego del trayecto es que el tratamiento dado al cauce alrededor del suelo urbano difiere en *dimensión (profundidad - anchura)*, *impermeabilidad (lecho natural vs construído)* y *vegetación (especie/tipo - ubicación - tamaño)*. Se estudiarán por tramos los cuales han sido agrupados básicamente por las conexiones que proveen los puentes para relacionar las áreas de ambos márgenes de la riera. En total, serán 9 tramos sobre la riera de Cabrils y las calles con las que cruza esta línea actuan como inicio y fin de cada tramo (ver ilustración 32); en paralelo habrán ilustraciones que hacen un acercamiento a cada 3 tramos con la lista de usos de suelo descritas en el MUC y una vista del entorno inmediato.

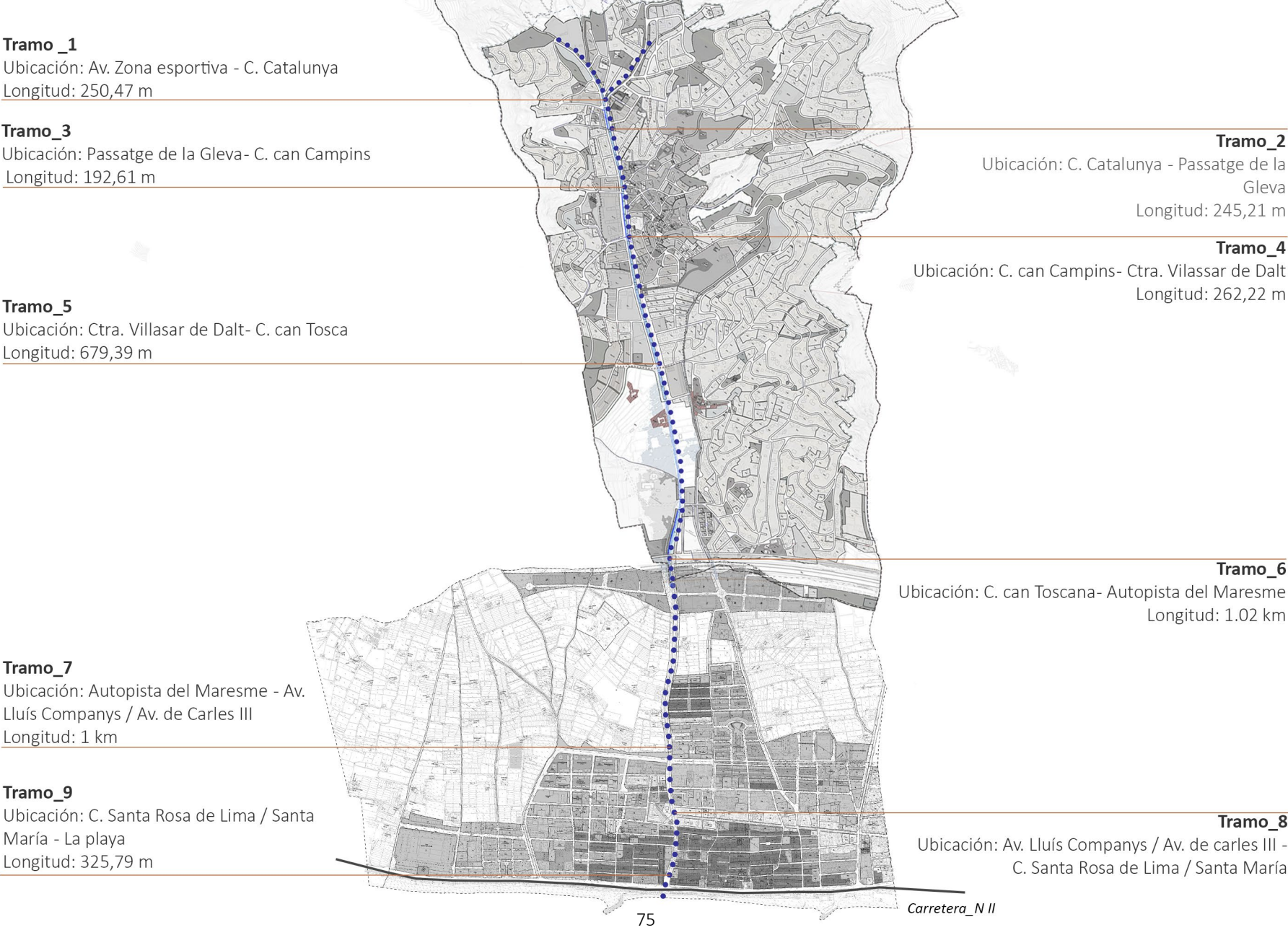
Il·lustració 30 Conformació del sòl. Font: Elaboració pròpia a partir del MUC



Il·lustració 31 Conformación e inundabilidad del suelo. Fuente: Elaboración propia apartir del MUC y ACA



Il·lustració 32 Recorrido riera Cabrils en los municipios de Cabrils y Vilassar de mar. Fuente: Elaboración propia



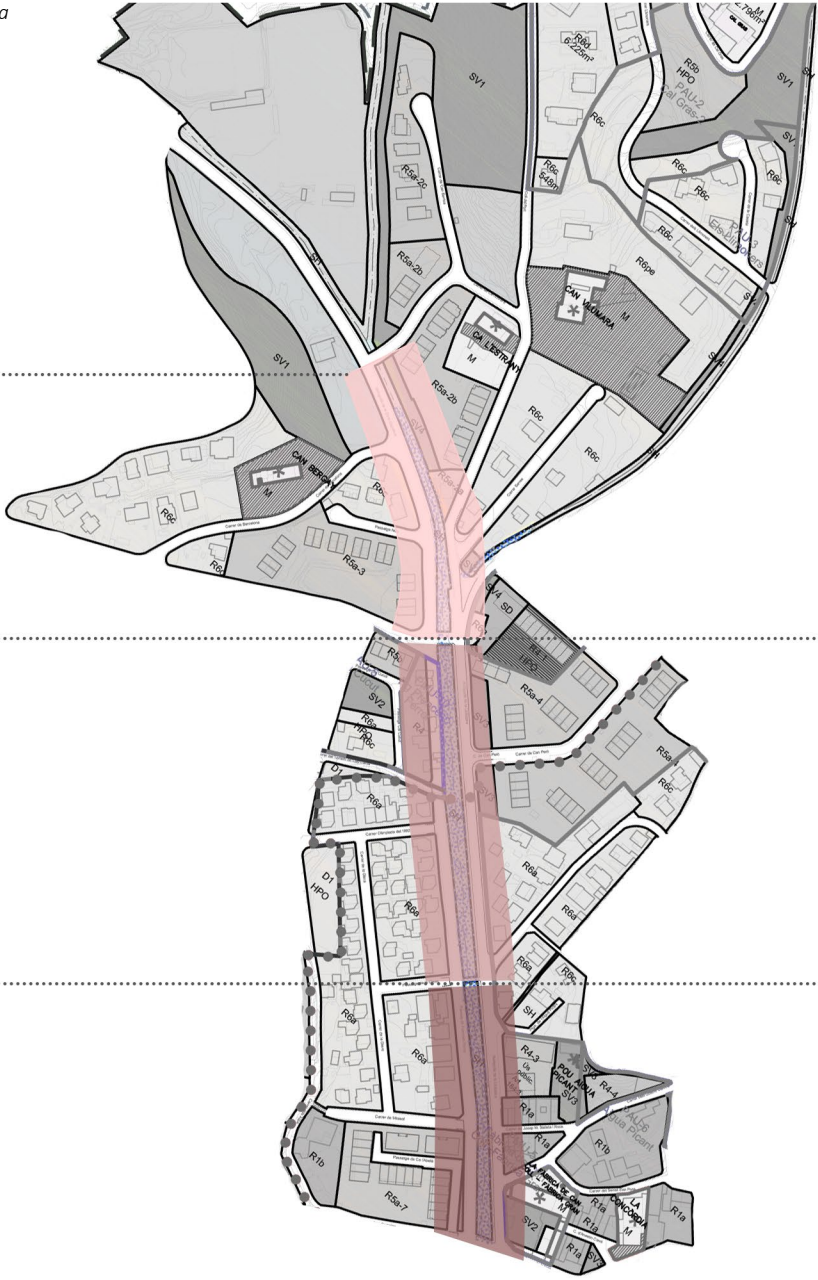
Il·lustració 33 Zoom in Tramo 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia

Tramo_1
Av. Zona esportiva - C. Catalunya

Usos MUC (ver tabla Anexo 1):
R5a-2b
R5a-3
R6c
SV4

Tramo_3
Passatge de la Gleva - C. can Campins

Usos MUC (ver Anexo 1):
R1a
R4-3
R5a-7
R6a
SV2
M



Tramo_2
C. Catalunya - Passatge de la Gleva

Usos MUC (ver tabla Anexo 1):
R4
R5a-4
R6a
SV3



A lo largo del recorrido de los tramos 1-3 iniciado en el municipio de Cabrils a 165.2 m sobre la Av. Zona Esportiva 6, las imagenes de Google Street View son tomadas siguiendo la margen de la riera de Cabrils sobre la Av. Llobatera. Este grupo de tramos coincide en tener una zona peatonal marcada por el andén al pie de la canalización y una hilera de árboles. El uso de suelo predominante es residencial de calificación R4 Ordenada abierta y R5 Casas agrupadas.

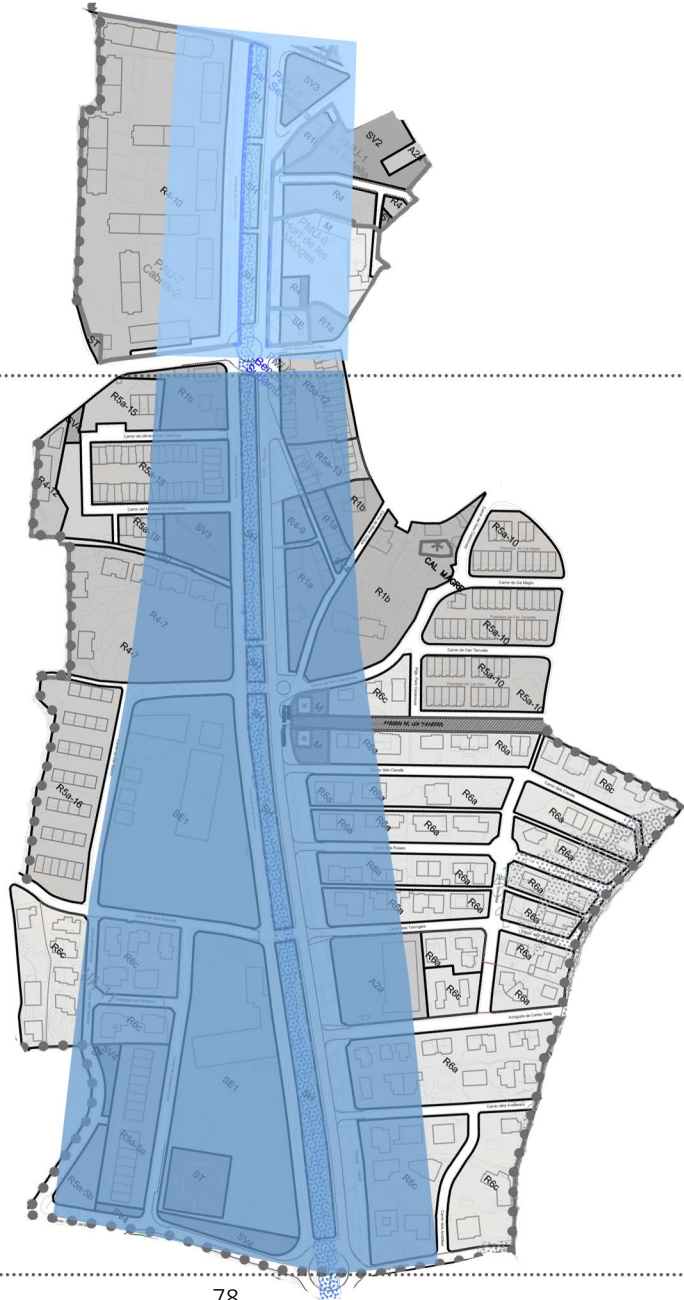
Il·lustració 34 Registro fotográfico Tramo 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view

Construcción	Andén / Vía	R I E R A	Andén / Vía	Construcción
				Tramo_1 Street view: Av. Zona esportiva
				Tramo_2 Street view: C. Catalunya - Av. Llobatera
				Tramo_3 Street view: C. can Campins - Av. Llobatera

Ilustración 35 Zoom in Tramo 4 y 5. Fuente: Elaboración propia

Tramo_4
C. can Campins - Ctra. Vilassar de Dalt

Usos MUC: M
R1b
R4
R4-10
SE
SV2
SV3



Tramo_5
Ctra. Vilassar de Dalt - C. Can Tosca

Usos MUC:
R1a
R1b
R4-7
R4-9
R5a-12
R5a-13
R5a-15
R6a
R6c
A2a
SV4
SE1
M

Ilustración 36 Registro fotográfico Tramo 4 y 5. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view



Tramo_4
Street view: C. les monges - Bv5022



Tramo_5
Street view: Ctra. Vilassar de Dalt - C. Can Tosca

Andén / Vía/ Construcción

R I E R A

Andén / Vía

Construcción

Los tramos 4-5 inicia a 126.05 m de altitud sobre la Av. Santa Elena con C. can campins donde la canalización está rodeada a cada lado de una calzada y solo en algunas distancias reserva espacio para andenes. El uso de suelo que predomina es el residencial con PB+1P+desván lo que indica uniformidad en la visual y se nota que a medida que avanza la canalización hacia Vilassar de Mar, la distancia entre la calzada y las edificaciones es mayor.

Ilustración 37 Zoom in Tramo 6. Fuente: Elaboración propia

T6_
**Street view: C. Can Tosca - Auto-
pista del Maresme**

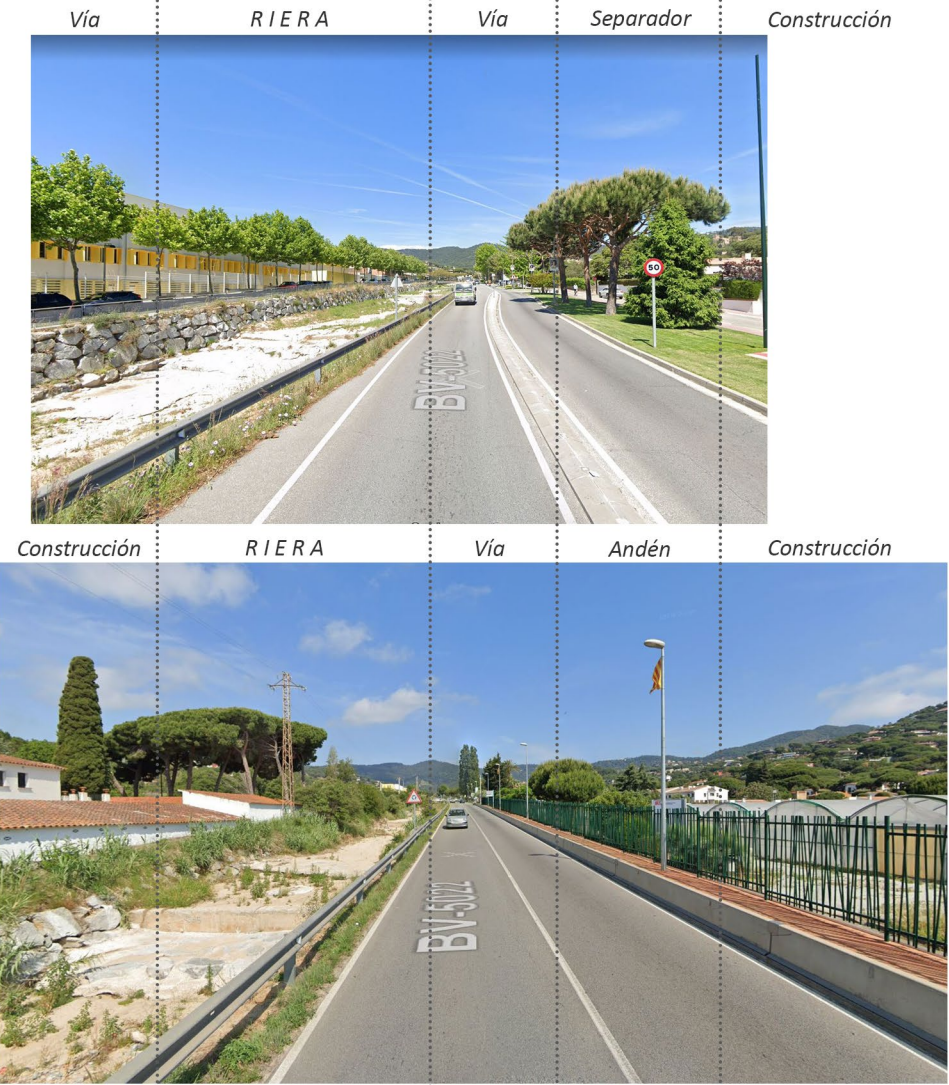
Longitud:
1.02 km

Usos MUC (ver tabla Anexo 1):
R5a-6
A2a
A2b
SV1
SV4



El tramo 6 es el último recorrido que hace la riera en el municipio de Cabrils en el que se extiende el uso de suelo No Urbanizable seguido del uso de suelo Mixto y es a la vez el tramo con mayor inundabilidad visto en la ilustración 38. La altitud a la que inicia es de 103.54 m.

Ilustración 38 Registro fotográfico Tramo 6. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view



T6_
**Street view: C. BV 5022 en direc-
ción a Autopista Maresme**

Ilustración 39 Zoom in Tramo 7, 8 y 9. Fuente: Elaboración propia



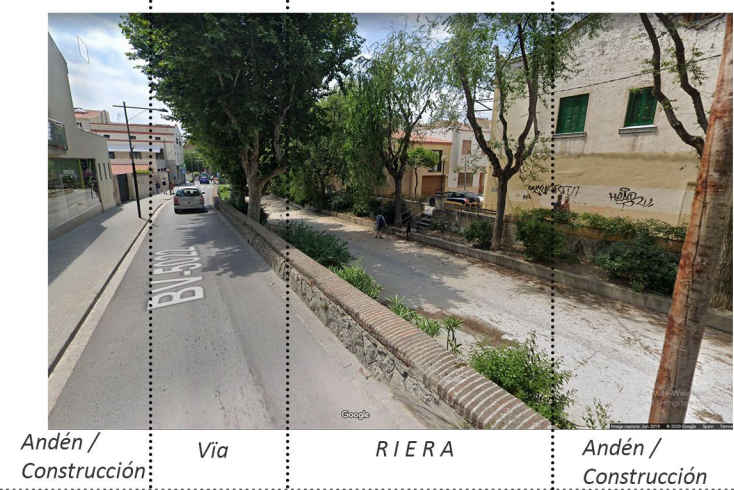
Ilustración 40 Registro fotográfico Tramo 7. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view



Sobre la margen derecha del tramo 7 el suelo es predestinado para la residencia y el suelo rústico mayormente mientras que en la margen izquierda, continúa con el uso de suelo No Urbanizable N1 Rústico. La altura respecto al mar del inicio de este tramo, tomada sobre el Camí del Mig es de 62.33 m.

Los últimos dos tramos que finalizan en el mediterráneo, son los más vulnerables sin lugar a dudas por el uso de suelo que prevalece, el residencial. La altura a la que inicia el tramo 8 es de 24 m aproximadamente y el segundo es de 14.1 m.

Ilustración 41 Registro fotográfico Tramo 8 y 9. Fuente: Elaboración propia a partir de Google street view



Como análisis general del MUC, las calificaciones urbanísticas marcan la inclusión en el paisaje de la riera o su existencia como un elemento más del perfil vial; elementos como las aceras, las hileras de árboles alrededor de la canalización, mobiliario urbano tal como cubos de basura, sillas e iluminación habla de una convivencia alrededor de ésta línea temporalmente vacía cuando el suelo a su alrededor responde a calificaciones residenciales (R5 agrupadas y R4 abiertas) y sistemas de espacios libres y zonas verdes (SV), propios de los Tramos 1-4, 8-9; mientras que cuando el suelo alrededor de la riera atañe a (A2) servicios, (A1) industria, (SX) sistema viario o (SNU) suelo no urbanizable, disminuye o desaparece el mobiliario urbano (Tramos 4-7) lo que es de esperarse al tratarse de zonas de baja densidad poblacional.

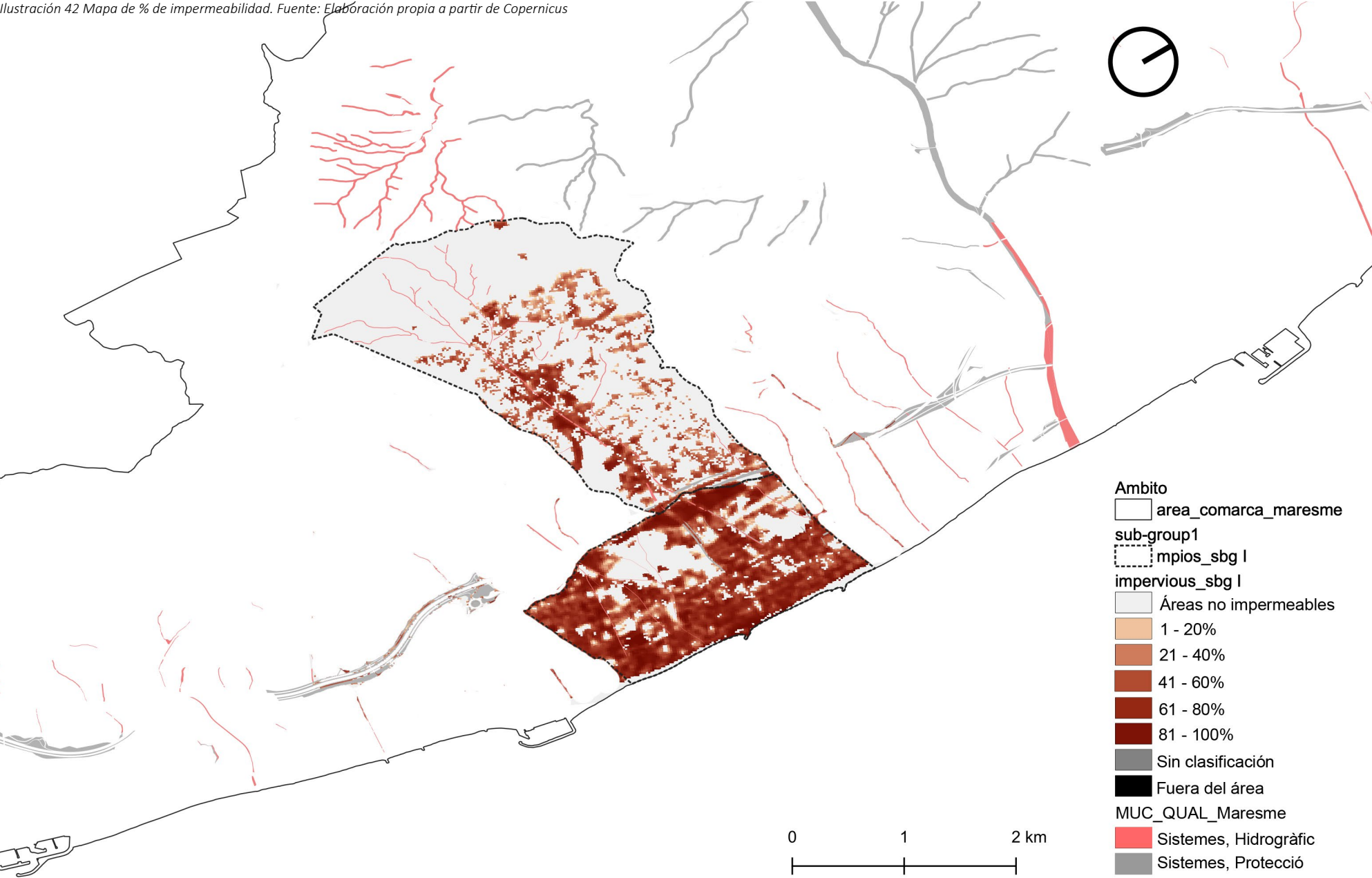
Al tener una visión más cercana al entorno de la riera de Cabrils, la conformación del suelo y una idea de las zonas afectadas por inundabilidad, a través de las bases cartográficas es posible establecer una relación entre el porcentaje de impermeabilidad con el uso suelo (urbanizado y no urbanizado) y con el umbral de escorrentía que tiene el terreno. De esta superposición de información se espera conseguir escenarios que confirmen que la baja permeabilidad indica calificaciones de suelo sellado del tipo R1- R4, A1- A2 y que a su vez indiquen que son áreas donde la escorrentía es inmediata en un evento de precipitación, esa línea de pensamientos sugiere poca o nula vegetación y mayor temperatura de la superficie.

El mapa de porcentaje de impermeabilización “High Resolution Layer: imperviousness Density (IMD) 2015” captura el porcentaje y cambio de suelo sellado, los valores que utiliza para denominar mayor o menor porcentaje de impermeabilidad está entre los rangos de 0 - 100% siendo 0 el porcentaje que representa permeabilidad, entonces, la máxima impermeabilidad está dada por 100%. El IMD toma las áreas selladas por una variación en la base de la fórmula del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ya que las áreas construidas están caracterizadas por la sustitución de la cobertura original (natural) sea vegetación o agua, por una artificial normalmente impermeable. El ráster utilizado es de resolución 100 m pixel.

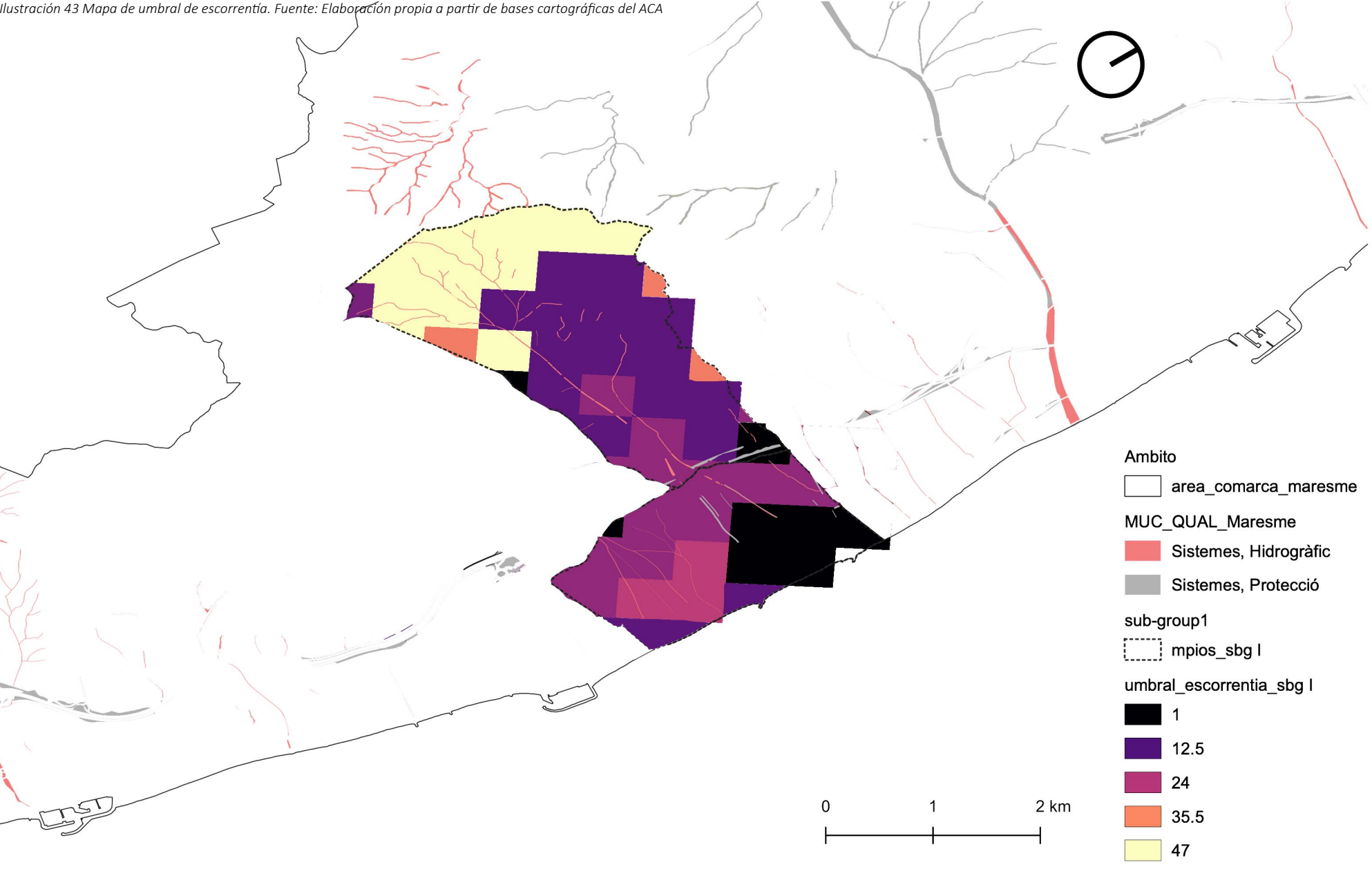
En la ilustración 42 se expone el ráster de impermeabilidad del suelo del grupo superponiendo el SH sistema hidrológico del MUC que representa la canalización de la riera de Cabrils como se ha mencionado en otras oportunidades. Lo más notorio es la presencia de permeabilidad en el suelo no urbanizable al norte del municipio de Cabrils y Vilassar de Mar, de la misma forma se aprecia la saturación de píxeles en las zonas que como ya se ha estudiado responden a calificación de suelo residencial y de equipamientos sobretodo en el municipio de Vilassar en las primeras líneas de playa. La calificación R6 de casas aisladas destaca por la poca presencia de píxeles con porcentajes superiores a 60% y esto responde a que el POUM (ver anexo 1) hace referencia a mantener la superficie permeable de la parcela a excepción de piscina y la vivienda porque esta calificación es modalidad ciudad jardín.

Por otro lado, la capa del umbral de escorrentía medido en milímetros proporcionado por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, es obtenido a partir de los usos del suelo del Corine Land Cover 2000 cuya información considera las condiciones de humedad media del suelo y hace referencia al momento en el que se genera escorrentía a razón de que la cantidad de precipitación es superior a la que el suelo intercepta, a pesar de que el terreno sigue infiltrando dependiendo de sus características geomorfológicas y produciendo evapotranspiración, la lluvia comienza a discurrir sobre la superficie. El umbral de escorrentía depende del tipo de suelo de acuerdo a su permeabilidad, el uso del terreno y la pendiente, de esta manera habrán suelos de un drenaje con calidad buena, moderada y pobre que distinguen texturas tales como arenosa, arcillosa, franco-arenosa, franco-arcillosa, entre otras; una lectura de esta clasificación sería por ejemplo, un suelo de clasificación hidrológica de grupo “A” con infiltración rápida cuando está muy húmedo con una textura Arenosa

Il·lustració 42 Mapa de % de impermeabilitat. Fuente: Elaboración propia a partir de Copernicus



Il·lustració 43 Mapa de umbral de escorrentia. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartogràfiques del ACA

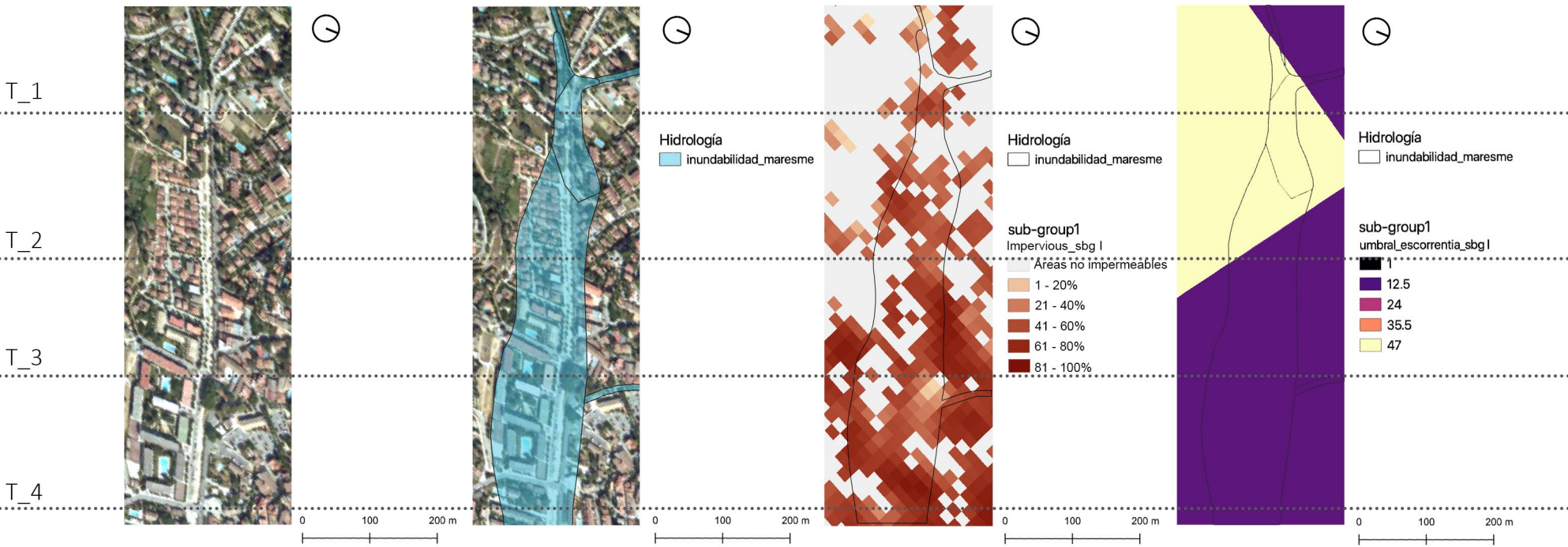


o Areno-limosa que goza de un drenaje perfecto.

Aplicado al grupo (ver ilustracion 43) se observa que el umbral de escorrentía trabaja dentro de los rangos 1 - 47 mm, donde se espera que los menores valores apliquen a los suelos sellados, aquellos con baja permeabilidad. En general se distingue con facilidad el (SNU) uso de suelo no urbanizable bajo los valores de 24- 47 mm y aquellos urbanizados de 1- 24 mm. La distancia que abarcan los pixeles no permite un acercamiento a la riera por lo que lo más probable es que tome el valor por su entorno.

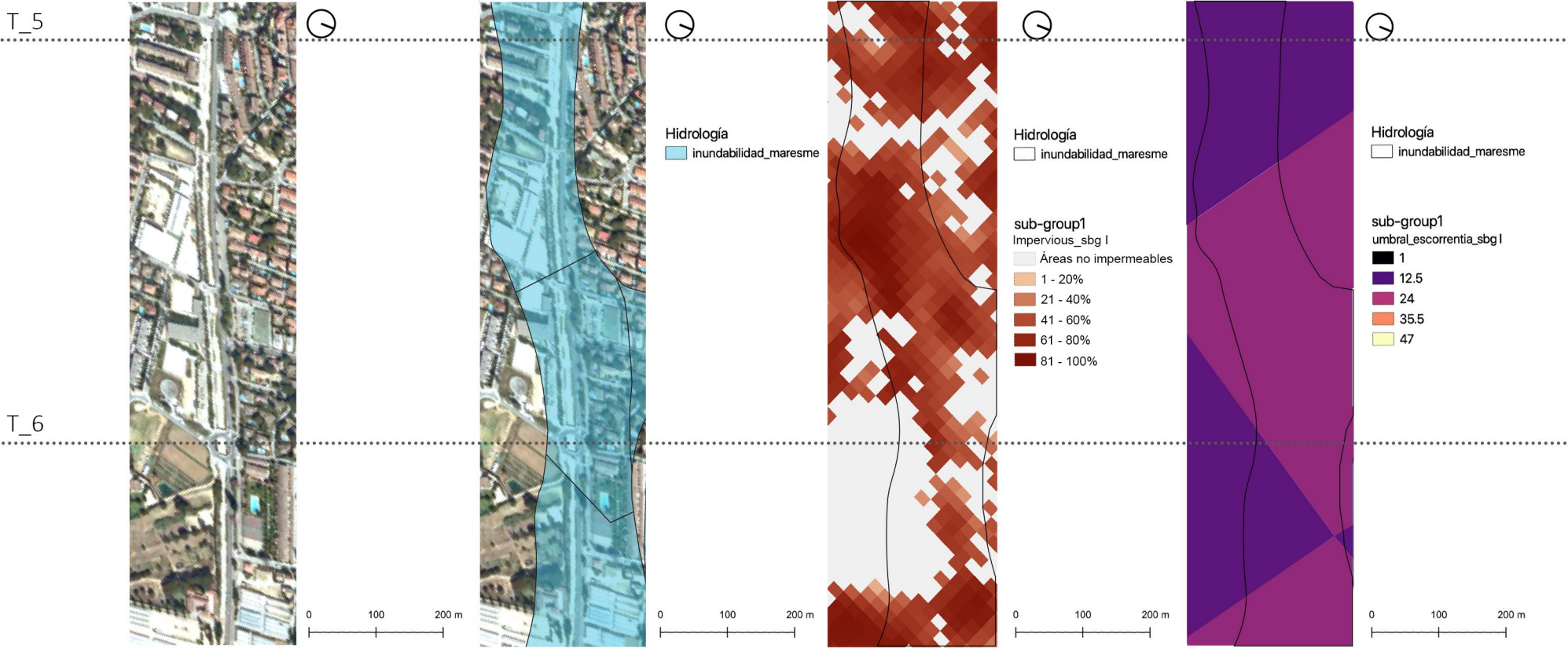
En detalle, las ilustraciones 44, 45, 46 muestran un consecutivo de los rásters de ortofoto, porcentaje de impermeabilidad y umbral de escorrentía de los tramos 1- 9 junto a una tabla con los valores correspondientes a cada imagen. Cabe resaltar que los valores tanto de impermeabilidad como de umbral de escorrentía son el resultado de hacer un promedio de los pixeles que cubren el área de cada tramo.

Ilustración 44 Superposición de inundabilidad, % de impermeabilidad y umbral de escorrentía sobre los tramos 1-4. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA



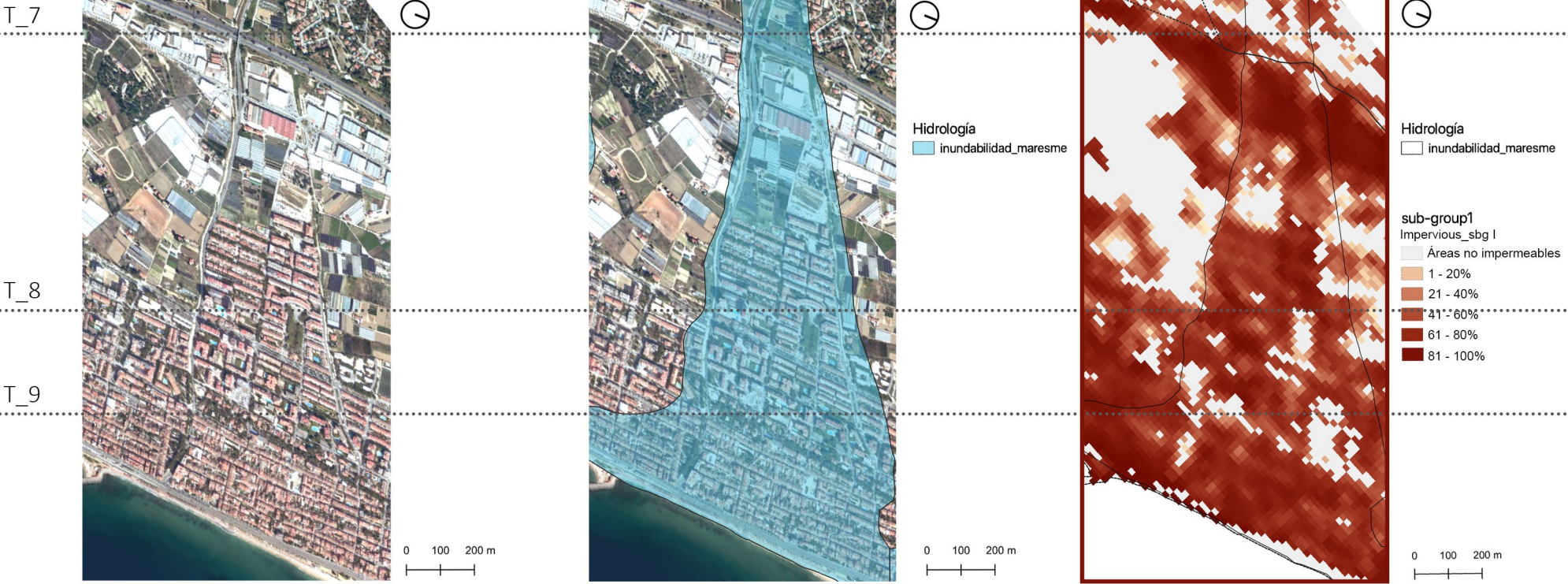
Tramo	Impermeabilidad (imperviousness) 0 - 99%	Umbral de escorrentía 1 - 47 (mm)	Observación
T_1 Av. Zona Esportiva- C. Catalunya	46.5	47	Es de suponer que el valor promedio del umbral de escorrentía para el tramo 1 y 2 sea susceptible al entorno que es el SNU y a la presencia de SV. Es evidente que la saturación localizada de pixeles de impermeabilidad corresponde a las calificaciones R5 y R4
T_2 C. Catalunya - Passatge de la Gleva	22.5	30.5	
T_3 Passatge de la Gleva- C. can Campins	48.45	14	Se observa que sobre la margen derecha se concentra el uso urbanizado R1 (núcleo urbano = > densidad) y en la izquierda el R6 (ciudad jardín) por lo que cabe resaltar que al estar más sellado el suelo (R1) responde a pixeles de 61-80% y a umbrales bajos de escorrentía
T_4 C. can Campins- Ctra Vilassar de Dalt	42.3	14	Se asume que predominan valores bajos de umbral de escorrentía porque el entorno es residencial núcleo urbano R1 y R4

Ilustración 45 Superposición de inundabilidad, % de impermeabilidad y umbral de escorrentía sobre los tramos 5-6. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA



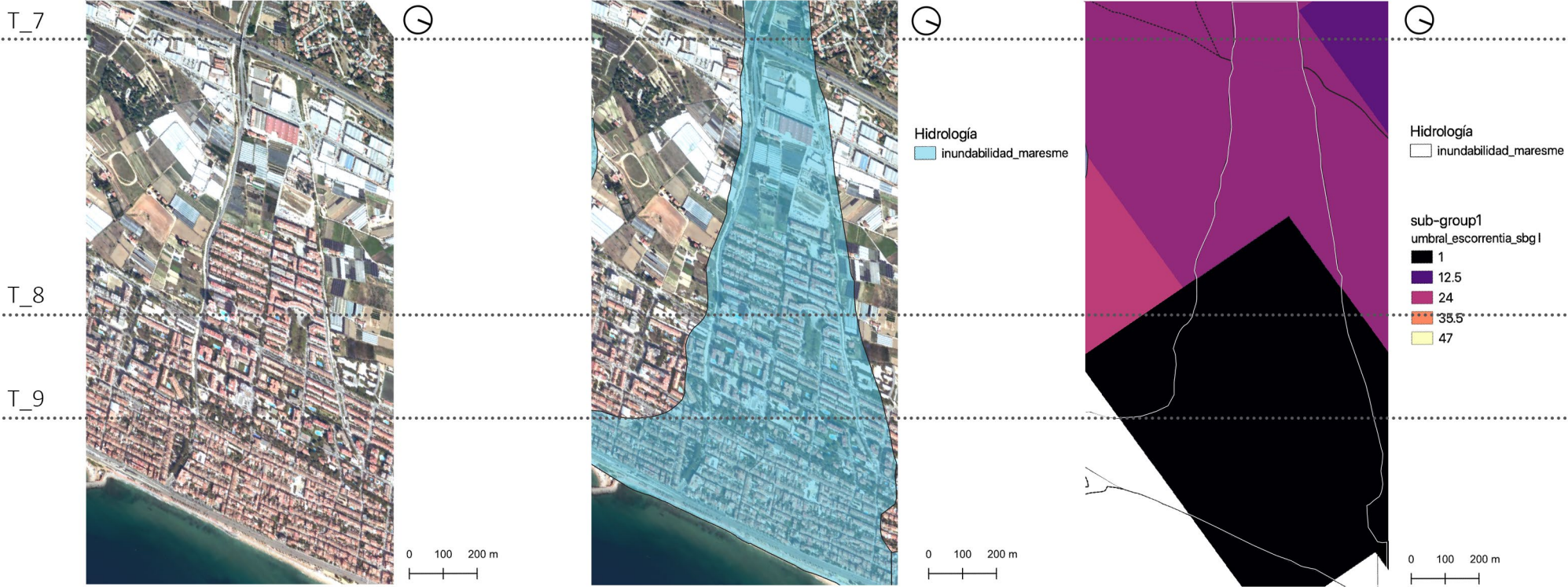
Tramo	Impermeabilidad (imperviousness) 0 - 99%	Umbral de escorrentía 1 - 47	Observación
T_5 Ctra Vilassar de Dalt - C. Can Tosca	43.3	17	T_5 y 6 son los más extensos dentro de el municipio de Cabrils. Mientras que el primero presenta residencia, equipamiento docente y espacios de transformación que marcan el suelo sellado, el segundo es SNU ambos con bajos umbrales de escorrentía y alta impermeabilización
T_6 C. Can Tosca - Autopista del Maresme	55.83	17	

Ilustración 46 Superposición de inundabilidad y % de impermeabilidad sobre los tramos 7-9. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA



Tramo	Impermeabilidad (imperviousness) 0 - 99%	Umbral de escorrentía 1 - 47	Observación
T_7 Autopista del Maresme - C. Carles III	53.86	10.5	La base cartográfica de inundabilidad geomorfológica indica que el área más afectada es sobre la margen derecha de la riera donde predomina la calificación residencial por ende, suelo sellado a excepción de el área destinada a SNU rústico donde es fácil identificar la alta permeabilidad con la categoría de ausencia de impermeabilidad, de la misma forma localizando en la ortofoto los espacios verdes, corresponden con la baja saturación de pixeles rojos.

Ilustración 47 Superposición de inundabilidad y umbral de escorrentía sobre los tramos 5-6. Fuente: Elaboración propia a partir de bases cartográficas del ACA



T_8 C. Carles III - C. Santa Rosa de Lima	48.29	1	A los dos últimos tramos les corresponde valores mínimos de escorrentía lo que significa que con valor medio de 1 mm de precipitación se forma escorrentía. Sin embargo, en la zona de la playa, el ráster no suministra datos (en color blanco). Adicionalmente, estos dos tramos son los que muestran en el ráster de impermeabilidad pixeles de 100%.
T_9 C. Santa Rosa de Lima- Playa	65.79	1	

RECOMENDACIONES DE TÉCNICAS BASADAS EN LA NATURALEZA EN SEGMENTOS DEL TRAMO 6 Y 8

Posterior a estudiar la riera de cabrils desde la perspectiva de uso de suelo, inundabilidad, umbral de escorrentía y porcentaje de impermeabilidad, el siguiente paso es escoger uno de los tramos y recomendar una o varias técnicas basadas en la naturaleza revisadas en el estado del arte como parte del proceso

de repensar las ciudades dentro del marco del cambio climático como sistemas complejos que necesitan ser resilientes.

Inicialmente para escoger los tramos a trabajar se tiene en cuenta que el comportamiento en cuanto a dimensión, vegetación e impermeabilidad basados en la información anterior, sean diferentes. Otra determinante es el predominio de uso de suelo distinto y tejidos urbanos diferentes. Con lo anterior, el tramo 6 perteneciente al municipio de Cabrils y 8 perteneciente al municipio de Vilassar de Mar poseen segmentos a lo largo de su longitud que tiene en común la interrupción del cauce de la riera y con ésto cambian radicalmente en dimensión. La primera está ubicada sobre la vía BV-5022 a la altura de la Baixada d’en Roldós (ver ilustración 48) con una longitud de 250 metros y altitud indicada de 80.61mt y 73.42mt respectivamente. La segunda, se localiza sobre la Carretera de Cabrils cuyo punto centro es la Calle Santa Rosa de Lima (ver ilustración 49) con una longitud de 80 metros y altitud indicada de 16.73 mt y 11.79 mt.

Tres aspectos concatenados conforman el proceso para escoger la(s) técnica(s) a recomendar y son, el **Estado físico + problemática + Enfoque a tratar**: el T_6 es un espacio abierto, de carácter público que hace parte del perfil vial principal del municipio de Cabrils y actúa como eje que divide al municipio en dos e interrumpe el acceso a las parcelas sobre la margen izquierda por lo que hay un pasaje privado para el IRTA (instituto de investigación y tecnología de agricultura) y una que conduce a el Camí de Mataró a través del Baixada d’en Roldós. La imagen consta de aproximadamente 10 mt de zona de protección que incluye la canalización de la riera contados después de la parcela / 9.80 a 11.45 mt de vía BV-5022 / parcela. En general, la riera es un área que sólo es productiva en momentos de precipitación o desbordamiento de algún cauce. En la actualidad no tiene una vegetación uniforme que actúe como factor estético sino que plantas nativas y contados árboles la bordean. Dentro de la problemática se destaca el cambio de curso de la canalización o la alteración de su “estado de riera” porque es evidente la disminución de profundidad reduciéndose a un camino de paso que metros más adelante se bifurca y mientras un brazo conecta con la vía BV-5022 el otro continúa paralelo a la calzada recobrando su identidad de riera impermeable; sucede con el lecho que es una mezcla entre desnaturalizado y semi natural y las zonas vegetadas no tienen mantenimiento. Si éste conjunto de hechos es situado en un escenario de flash flood provocaría un desbordamiento de la riera que en principio es de suponer que afectaría a las parcelas contiguas que están a una cota más baja de la vía, entonces, para reducir el impacto que este desbordamiento pueda tener, la riera debe contar con ciertas características que mejoren el manejo de las aguas pluviales enfocado a mayor **infiltración** del agua, dirección del **transporte de sedimentos** y **reducir** la **escorrentía** por tanto, **disminuir** la **impermeabilidad**. De la tabla 4 *clasificación de técnicas de acuerdo al uso de la vegetación* revisadas en el estado del arte, las técnicas afines a estas palabras claves, conciernen a **biorretención** (jardín de lluvia, canal vegetado), **zanjas de infiltración** (canales secos) y **franjas filtrantes vegetada**.

El T_8 por su parte tiene un entorno completamente diferente, está en medio de zona residencial y no solo hace parte del perfil vial sino del espacio público porque así como hay escaleras para acceder a la cota más baja de la riera, hay bancas y andenes a cada lado. Al igual que en todo su trayecto, la riera imposibilita el acceso a cualquier altura de las calles a los inmuebles, para permitir un acceso más directo, hay puentes o vías que cuadriculan la trama y hacen posible esquivar el eje de la riera. El perfil vial que se maneja en este segmento con medidas aproximadas es parcela / riera de 8.25 mt / acera de 2.69 mt / Ctra. Cabrils de 8 mt / acera 2.50 mt / parcela. En términos de paisaje, la canalización está ornamentada a cada lado con vegetación: árboles adultos de 3- 8 metros y plantas arbustivas en jardineras, sin embargo, el lecho está impermeabilizado totalmente.

Il·lustració 48 Localització de segmente de estudi del Tramo 6, municipio de Cabrils. Fuente: Elaboración propia a partir de Google maps



Lecho de riera semi-natural



Interrupción de la riera / paso a parcela / puente privado



Alteración de la dirección de la riera

Baixada d'en Roldós



Zoom in de Tramo_6: sobre vía BV-5022

80.61 mt
73.42 mt

Camí de Mataró

Il·lustració 49 Localització de segmente de estudi del Tramo 8, municipio de Vilassar de Mar. Fuente: Elaboración propia a partir de Google maps



Lecho de riera semi-natural

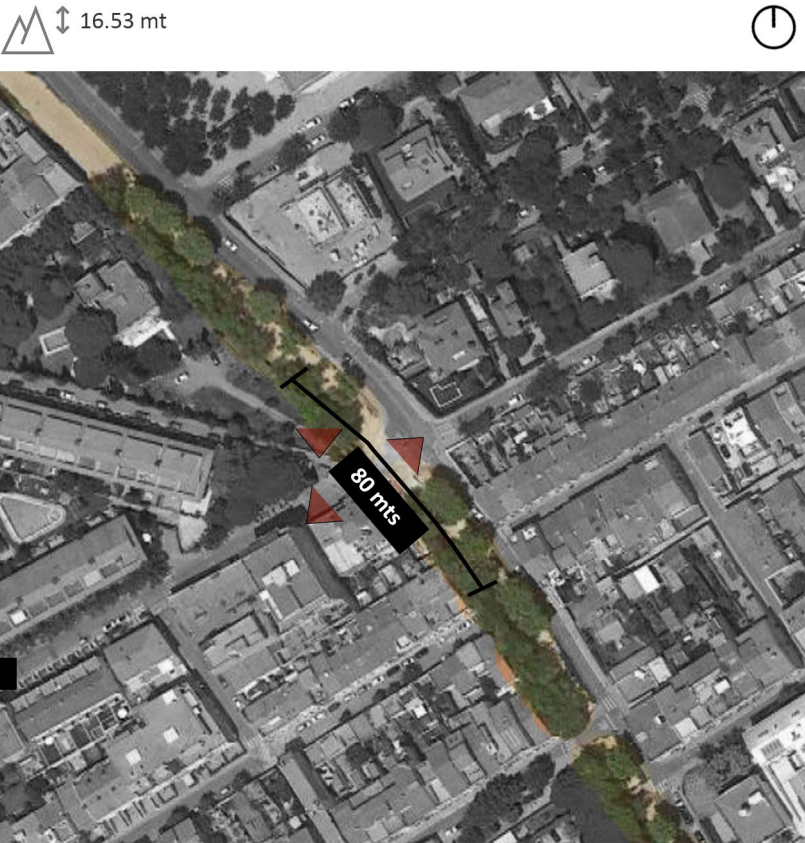


Interrupción de la riera por vía asfaltada



Riera a nivel de rasante / lecho impermeabilizado

C. de Santa Rosa de Lima



Zoom in de Tramo_8: sobre Ctra de Cabrils

16.53 mt
11.79 mt

En el segmento del T_8 al igual que el T_6 hay un cambio en la profundidad en la canalización y poco a poco se alinea con la cota de la calle Santa Rosa de Lima que corta la vía Ctra de Cabrils que es paralela a la riera, en este punto de intersección se observa en las fotografías que el lecho es impermeabilizado y la vegetación que la rodea está localizada en jardineras. Si se somete a un evento de flash flood a esta zona, lo siguiente sería un desbordamiento inevitable sobre toda la zona residencial que le rodea. Sin embargo, modificando el contexto actual (ver ilustración 50) con el intercambio de materiales impermeables a permeables **reduciría la velocidad de escorrentía**, conlleva a **mayor infiltración** y menos erosión, contribuiría a mejorar el clima urbano y habría mayor control sobre el **transporte de sedimentos**. A pesar de que son las mismas problemáticas que las vistas en el segmento anterior, en este caso además de las mencionadas para el T_6, podría añadirse pavimento permeable alrededor del canal al tratarse de zona urbana en constante uso público.

Si bien la tabla 4 es un apoyo para discernir entre las técnicas, es preciso considerar características que las profundicen y provean argumentos que respalden su utilización, de esta manera, la justificación de la **técnica de biorretención, zanjas de infiltración y franjas filtrantes vegetadas** en los segmentos del T_6 y T_8 es que no solo está pensado para recolectar pequeñas cantidades de aguas pluviales sino que alternativas como el uso de bypass o tubería de rebose pueden ser usadas para recibir grandes cantidades de agua de lluvia a menos que tenga una pendiente natural suficiente para transportar con mayor facilidad el agua que es en este caso lo que sucede con la riera, aunque se debe cuidar que la pendiente no sobrepase de 5%. Debe haber un retiro de mínimo 4 mt desde la estructura de la edificación hasta el lugar donde se diseñará la técnica y la forma que lleve es dictada por el entorno sea edificios, caminos, vías, etc. Esta técnica es inicialmente para lograr infiltración en donde se retiene el agua temporalmente, pero dicha infiltración puede ser total, parcial o nula siempre que no se coloque desagüe, se instale desagüe o a parte del desagüe se disponga de una membrana impermeable, respectivamente para cada caso. Funciona en cualquier tipo de suelo aunque se obtienen mejores resultados en aquellos que pertenecen al grupo hidrológico A y B, es decir, suelos francos, franco-limosos, arenosos y areno-limosos; sin tener en cuenta el tipo de suelo, será fundamental la presencia de mulch (75 mm) y el diseño del lecho filtrante con mix de arenas, finos y material orgánico (C. Valley 2010) cuya capa de grava sea de una profundidad mínima de 300 mm (diámetro de material granular de 50 mm) y una capa de gravilla encima de diámetro entre 3 y 10 mm. El lecho filtrante recomendado es de 1 a 1.25 mt, sin embargo, los beneficios de remoción de contaminantes que ofrece la biorretención pueden alcanzarse hasta con 500 mm de lecho filtrante (Davis et al., 2009) en caso de que hayan árboles en el diseño como lo es en el caso del T_8, debe de ser mínimo de 1 mt la cama filtrante y tener suficiente volumen de suelo para acomodar las raíces de los árboles adultos, mínimo 12 mt³. La presencia de los 75 mm de mulch en la superficie mejora la supervivencia de las plantas, suprime el crecimiento de malezas y trata la escorrentía antes de que entre a la cama filtrante.

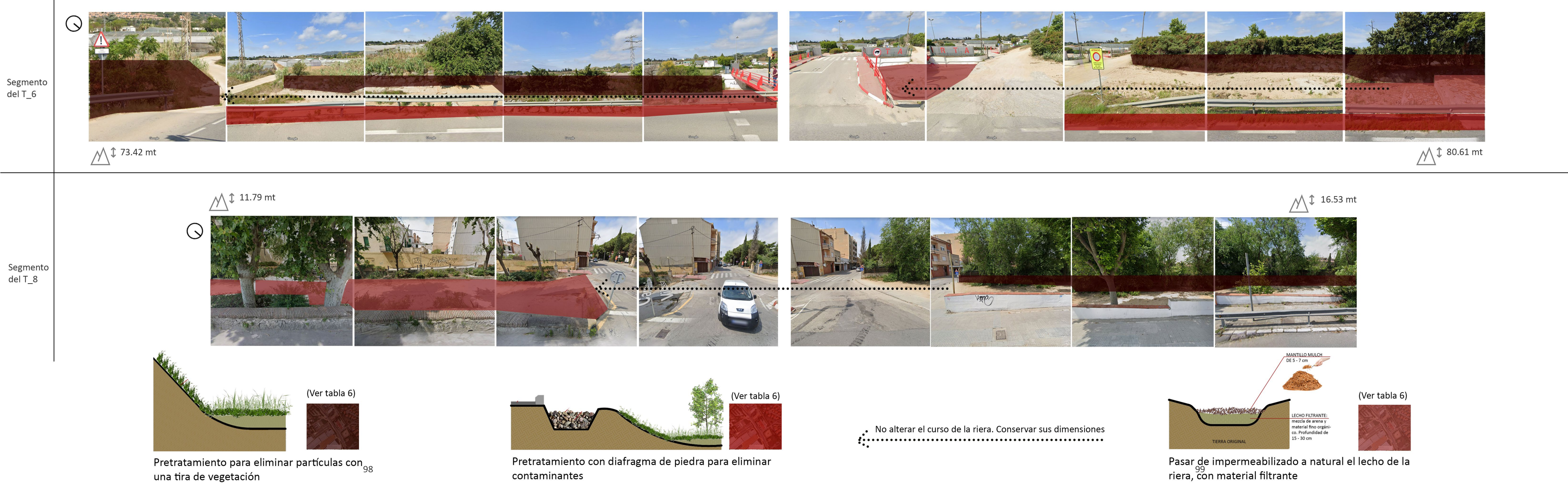
La vegetación es pieza clave para determinar el mantenimiento que pueda tener la técnica de biorretención en cualquiera de sus formas (celdas, jardines, zanjas) donde en lo posible debe utilizarse una combinación de árboles nativos, arbustos y material herbáceo perenne. Si el área obedece a menos mantenimiento lo mejor es utilizar césped y árboles, no obstante, se debe asegurar de escoger plantas herbáceas tolerantes a la sombra. Cabe resaltar que la práctica de la biorretención necesita de un pretratamiento para asegurar los beneficios de cuanto a la calidad del agua, en otras palabras, la remoción de contaminantes para lo cual, se puede hacer uso de las franjas filtrantes con vegetación con pendientes suaves de mínimo 3 mt de ancho porque de lo contrario se requiere de mantenimientos frecuentes. De la misma manera, el uso de un diafragma de piedra que consta de una pequeña zanja rellena de gravilla y que se localiza de forma perpendicular a la dirección del flujo en medio de la técnica y el borde del pavimento ideal para el segmento del T_6 cuyo límite

es la calzada BV-5022.

Por último, los beneficios otorgados por utilizar la biorretención incluye el balance hidrológico que conlleva a la reducción del volumen de escorrentía gracias a la evapotranspiración e infiltración; mejora en la calidad del agua porque reduce la contaminación por resultado de la sedimentación, filtración y absorción de suelo; tiene ventajas ambientales como el hecho de que no eleva la temperatura del agua como sucede con los lagos de retención y gracias a la introducción de suelo permeable y vegetación reduce el efecto de isla de calor urbano (UHI) ya que las plantas absorben menos radiación solar que las superficies duras impermeables además, el vapor emitido por la vegetación refresca la temperatura ambiente.

A escala general, la ganancia por el uso de prácticas que se basan en la naturaleza para hacer un manejo responsable de las aguas pluviales se hace más atractiva cuando se comprueban casos donde la inversión económica ha sido menor que en aquellos casos donde se utilicen métodos convencionales grises. Como se ha explicado anteriormente, el conjunto de técnicas conforman una metodología que dependiendo a la región donde nos encontremos pueden recibir el nombre de best management practice (BMP), sustainable urban drainage system (SUDs), low impact development (LID), natural based solution (NbS), Ciudad Esponja, entre otras, por ésto la bibliografía referente a la evaluación del ahorro monetario que haya reflejado cada experiencia se encuentra bajo el nombre de la metodología utilizada más no de la técnica, así por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental estadounidense U.S. EPA por sus siglas en inglés, examina los costos del uso de la metodología LID a través de un reporte hecho para el 2007 que reúne 17 casos desarrollados en Estados Unidos y Canadá para el manejo de agua de lluvia en escenarios naturales y urbanos donde un dato clave encontrado fue que en 12 de los casos de estudio, el capital total ahorrado estuvo en un rango entre 15 y 80% cuando fueron usados los métodos LID y solo en un caso fué mayor el costo de estas prácticas en comparación a la convencional: el proyecto Kensington Estates, Pierce County en Washington tuvo un costo diferencial de -\$737,200 (un -96%) que indica el incremento económico para el diseño LID sobre el costo del desarrollo de un diseño gris convencional. Por otro lado, la mejor de las experiencias fue en Bellingham City Hall, también en Washington que tuvo una diferencia en coste de \$22,000 (un 80%). Debe tenerse presente el principio de que las inversiones iniciales están ligadas a la ubicación específica de la práctica, el objetivo y el área delimitada como mínimo, de allí en adelante otros factores influyen de acuerdo a la técnica, por ejemplo, el precio de construir humedales depende mayormente de lo que cueste adquirir el terreno, la estructura, el tamaño y las plantas apropiadas (BalticDeal 2012) aunque el costo del mantenimiento sea bajo, variables como la pendiente del sitio afectará su incremento en caso de necesitar bombear el agua por tanto, al considerar estas variables el valor puede variar de unos pocos dólares a decenas de miles por hectáreas (BalticDeal 2012). Al igual que en el caso negativo en Washington habrán opciones convencionales que superen las verdes y es en ese punto donde se debe evaluar el costo- beneficio de las metodologías considerando la escala del proyecto. Así, hablando de los humedales, representan la opción más económica cuando se requiere tratamiento de aguas en pequeña escala comparadas con plantas de tratamiento pero sucede lo contrario cuando hay que manejar grandes áreas (Hoffmann 2011).

Ilustración 50 Propuesta de ubicación de técnicas de biorretención - franjas filtrantes vegetadas para los segmentos de estudio T_6 y T_8. Fuente: Elaboración propia a partir de Google maps



CONCLUSIONES

El objetivo general del presente documento parte de la premisa que la carencia de áreas permeables en las ciudades altera el ciclo hidrológico y que esta situación aunque es incontrolable porque el ser humano no detendrá el proceso de poblamiento, tiene forma de ser aplacado y se ha visto durante el desarrollo de este estudio que *i)* una situación depende de variables permanentes y cambiantes, algunas controlables y otras no y *ii)* las alternativas válidas para tratar la situación en escena son competentes, traen beneficios ambientales y económicos pero no se convierten en la panacea y como en todos los ámbitos, se requiere de vigilancia y mantenimiento. Para ampliar lo anterior, una vasta bibliografía asegura que cuando el suelo no es capaz de infiltrar más agua es porque está saturado o bien es impermeable por lo que el siguiente paso es correr en busca de suelo donde pueda ser captado o de un depósito que lo retenga; cuando la acumulación del fluido supera niveles constructivos e imposibilita al ser humano la acción de transitar sin peligro de deslizamiento hablamos de “la situación” cuyas variables son del tipo fisiográfico, geológico, hidrológico y climático (las primeras permanentes y la última es variable aún más en tiempos del calentamiento global) que entran en conflicto con la acción humana que ha desnaturalizado el suelo para crear ciudades respetando en mayor o menor grado la permeabilidad inicial. “La situación” toma el nombre propio de “las riadas del Maresme” cuando eventos de precipitaciones convectivas torrenciales en corto período de tiempo, generalmente entre los meses de septiembre y octubre, dan paso a los flash flood o inundaciones repentinas. Las riadas tienen un cauce propio llamado “rieras” que atraviesan las ciudades y han sido diseñadas como solución a estos eventos sin embargo, en el marco del cambio climático hay incertidumbre en cuanto a la capacidad de contención de las aguas que desembocan en el mediterráneo puesto que hoy día desbordamientos son habituales cada año en varios municipios del Maresme habiendo tomado precauciones. En este punto hablamos de las alternativas válidas mencionadas al inicio para tratar las riadas y que no son más que la agrupación de técnicas que han sido productos de la reflexión de cómo la naturaleza lleva a cabo sus procesos. Estas prácticas se apoyan mayormente en la vegetación porque reconocen en primera medida el hecho de que el ciclo natural del agua necesita de infiltración para dar por completado su recorrido y en segunda, los beneficios que aportan las plantas al clima urbano porque después de todo son metodologías instaladas en nuestro entorno inmediato.

En base a lo anterior, el estudio hecho en la riera de Cabrils cuyos municipios directamente afectados son Cabrils y Vilassar de Mar en la comarca del Maresme se apoya en bases cartográficas y recorridos a través de google street view para separar las variables de las que depende “las riadas del Maresme”, por un lado, se centra en conocer la configuración del suelo construido y a través de recorridos virtuales relacionar los usos del suelo con características físicas que destaquen tramos de la riera. Por otra parte había que distinguir las amenazas hidrológicas porque el objetivo era analizar inundaciones pluviales no fluviales o marítimas así lleguen a confluir en algún punto las tres formas. Entonces, apoyados en el PGRI se deducen los tramos de riesgo de inundación y se concluye que no son relevantes para el desarrollo del análisis porque se centran en riesgo marítimo mientras que el INUNCAT caracteriza tramos de la riera donde es recurrente la inundación en temporales.

De la superposición de las bases de inundabilidad, mapa urbanístico, porcentaje de impermeabilidad y umbral de escorrentía se concluye que las calificaciones de suelo que obedecen a zonas residenciales (exceptuando la R6), actividades económicas y equipamientos tienen una estrecha relación con el mapa

que muestra el porcentaje de impermeabilidad del suelo al tratarse de terreno sellado y escasas zonas verdes, como es de esperarse ocurre lo contrario en usos del suelo de espacios libres y zonas verdes, o de protección que tienen valores que oscilan entre el 0 y 20% de impermeabilidad. Un hecho importante es que el área alrededor de la riera tiene un porcentaje medio- alto de impermeabilidad porque está rodeado de área urbanizada por consiguiente al compararlo con el ráster de umbral de escorrentía vemos que los valores son los más bajos, entre 1 y 24 mm lo que quiere decir que las precipitaciones que ocurran dentro de este rango producirán escorrentía superficial. Lo anterior afirma la suposición inicial de que la baja permeabilidad afecta en el ciclo hidrológico y se ve claramente en ciertas áreas del caso de estudio dando paso a situaciones de inundación.

En referencia a las alternativas apropiadas que contribuyen a menguar los efectos de las riadas todo conduce a que es necesario más permeabilidad en el lecho de la riera a través del uso de la vegetación si se quiere reducir el volumen de escorrentía para evitar el desbordamiento del agua y reducir la peligrosidad en las áreas urbanas de los municipios tras comprobar la baja permeabilidad del suelo, la inundabilidad alrededor de la riera y el bajo umbral de escorrentía. Así durante la búsqueda de las mejores técnicas para este caso, el estado del arte confirma que no se trata de técnicas aisladas para lograr un objetivo en cuanto al manejo de aguas pluviales sino que es el resultado de agrupar al menos 3 de ellas, que lo que determina el máximo o mínimo de empleo es el alcance que se pretenda conseguir independiente del tiempo en el que se proyecten resultados y que aunque existan parámetros genéricos para desarrollar el diseño de estas prácticas, tendrá variaciones en la medida que se ajuste a un caso en específico. Los beneficios que proporciona la implementación de metodologías basadas en la naturaleza van desde ahorro económico, indiscutiblemente una mejora en el clima urbano reduciendo la UHI, ofrecen valores ecológicos y estéticos, da un paso adelante a la resiliencia de las ciudades, flexibilidad para adaptarse a cualquier entorno, entre otros como atenuación de ruido y mecanismos de riego pasivo para jardines.

Finalmente, ser conscientes del riesgo al que se enfrentan las ciudades en medio del cambio climático incentiva a reinventar herramientas que ayuden a combatir la fragilidad de los tejidos urbanos cuando de inundaciones se trata, es volver a la naturaleza y pedirle consejo, es aprender del maestro. Cuando profesionales no sólo de la rama hidrológica o afines deciden optar por una postura crítica ante la situación y la incluyen como eje dentro de decisiones políticas se crea una red de consciencia y respeto ante el suelo que a diario utilizamos, en cierto modo devolvemos valor y dejamos de considerarlo como bien permanente.

ANEXOS

Anexo 1 Lista de características relevantes de las calificaciones de suelo alrededor de la riera de Cabrils

Zona	Subzona	Categoría y/o subcategoría de calificación urbanística	Tratamiento (zonas verdes/permeables, # de plantas, disposición de suelo, otros)
R1		Núcleo Antiguo	
	R1a	Núcleo Compacto	Esta zona comprende el sector central y más antiguo formado por un tejido irregular de parcelas agrupadas en islas destinadas a viviendas entre medianeras con usos comerciales y de servicio. La altura máxima de la edificación es de 9,60 m (PB+2P+desván).
			El uso principal es de vivienda en todas sus modalidades; obliga a vivienda unifamiliar cuando se trate de parcelas donde se den conjuntamente las siguientes condiciones: i) fachada menor a 6 metros, ii) profundidad edificable inferior a 8 m y iii) no es posible desplegar escaleras comunes. La densidad residencial es de 1 vivienda por cada 150 m2st construidos
			Usos específicos: comercial, en planta baja y primera siempre que tengan relación directa. Terciario, oficinas y servicios. Servicios profesionales, centros de investigación y tecnología, establecimientos hoteleros, restauración
	R1b	Núcleo Abierto	Esta zona corresponde a las edificaciones unifamiliares, aisladas, agrupadas o entremedianeras situadas en el casco antiguo procedentes en su mayoría de fincas que se han ampliado
			Edificabilidad neta máxima sobre la superficie de la parcela es: En parcelas de hasta 1.000 m2 de superficie se puede edificar una casa unifamiliar aislada en la parcela o ampliar la existente hasta un máximo de 0,60 m2t/m2s ó se aceptan los conjuntos unifamiliares existentes a la fecha de aprobación inicial del plan sean aisladas, agrupadas o medianeras con una edificabilidad máxima de 0,80 m2t/m2s. La altura máxima será de 6,50 m (PB+1P+desván)
			En las parcelas de más de 2,000 m2 de superficie, la densidad máxima es de 3 viviendas por parcela. Se admiten ampliaciones o nuevas modificaciones cuando la edificabilidad de la parcela sea menor a la máxima de 0,60 m2st/m2s.
			La ocupación máxima sobre la superficie total de la parcela será en cualquier caso del 50%. La superficie no ocupada de la parcela se destinará a jardines y zonas de recreo con un máximo del 20% pavimentado
		Ordenación Abierta (volumetría definida)	Los espacios libres privados previstos se destinarán exclusivamente a jardines, aparcamientos o instalaciones deportivas al servicio del conjunto edificado. Las áreas de jardín y aparcamiento tendrán tratamientos de suelo permeables.
	R4-3	Antiguo PERI-7 “Aigua Picant”	Coeficiente de edificabilidad sobre la parcela de 0,70 m2st/m2s
R4			Altura máxima de la edificación es 9,50 m (PB+2P)
			Número máximo de viviendas: 15
	R4-7	Bloques “Santa Elena”	Altura máxima de la edificación es 11,50 m (PB+3P)
			Techo máximo edificable: 4,332 m2st
			Número máximo de viviendas: 48
	R4-9	Bloques entre Passeig de Cabrils y la calle Sant Jordi	Altura máxima de la edificación es 11,50 m (PB+3P)
			Número máximo de viviendas: 8
	R4-10	Conjunto “Cabrils-2”	Número máximo de viviendas: 165

R5		Casas Agrupadas	
	R5a	Conjuntos de viviendas con ordenación específica	
		Conjunto R5a-2b	Parcela mínima: 350 m2s
			Fachada mínima: 10 m
			Coeficiente de edificabilidad sobre parcela: 0,45 m2st/m2s
			Altura máxima de la edificación: 6,50 m (PB+1P+desván)
			Ocupación máxima sobre superficie total de la parcela: 40%
			Distancia mínima: a la vía 2m; a laterales 2m; fondo de parcela: 2m
			Número máximo de viviendas: 22 viviendas
		Conjunto R5a-3	Altura máxima de la edificación: (PB+1P+desván)
			Techo máximo edificable: 3.730 m2st
			Número máximo de viviendas: 16 viviendas
		Conjunto R5a-4	Parcela mínima de 800 m2s (para agrupaciones de hasta 4 viviendas)
			Coeficiente de edificabilidad sobre la parcela de 0,59 m2st/m2s
			Altura máxima de la edificación: 6,50 m (PB+1P+desván)
			Número máximo de viviendas: 43
	R5a	R5a-7	Altura máxima de la edificación: 7,50 m (PB+1P+desván)
			Techo máximo edificable: 3.857 m2st (casas en hilera) + 1,816 m2st (bloques). Total 5,673 m2st
			Número máximo de viviendas: 17 (casas en hilera) + 12 viviendas (bloques). Total, 29 viviendas
		R5a-12	Altura máxima de la edificación: (PB+1P+desván)
			Techo máximo edificable: 3.855 m2st
			Número máximo de viviendas: 32
		R5a-13	Altura máxima de la edificación: (PB+1P+desván)
			Techo máximo edificable: 1.440 m2st
			Número máximo de viviendas: 14

R5	R5a	Conjunto R5a-15	Altura máxima de la edificación: 6,50 m (PB+1P+desván)
			Techo máximo edificable: 5.568 m2st
			Número máximo de viviendas: 43
R6	R6a	Casas Aisladas	Esta zona incluye distintas modalidades de ciudad jardín. Se caracteriza por la disposición aislada o en algunos casos adosadas, tiene un determinado porcentaje de espacios libres de uso privado. Se distinguen subzonas en función del tamaño de la parcela mínima y la intensidad de edificación
			Edificabilidad neta máxima sobre la superficie de la parcela: 0,80 m2st/m2s
			Ocupación máxima sobre superficie total de la parcela: 40%
			Altura máxima de la edificación: 6,50 m (PB+1P+desván)
			El uso de los espacios libres de edificación será de jardín o patio, con las siguientes condiciones:
			a) Se mantendrá el arbolado existente. Se determina la plantación de un árbol por cada 70 m2s o fracción. Las especies vegetales serán las adecuadas al clima mediterráneo de Cabrils.
			b) Los tratamientos del suelo serán permeables en su totalidad, excepto en cuanto al entorno de la edificación o la piscina y los pasos para acceso de vehículos.
			c) No se admiten las construcciones enterradas. No obstante se admite la construcción de garajes en sustitución de tierras, con superficie máxima de 60 m2 útiles y altura de 3,50 metros, sin necesidad de separarse de los linderos ni de las calles. Los garajes contruidos en sustitución de tierras sólo podrán tener aberturas en su fachada principal, quedando el resto de fachadas cubiertas por el nivel de tierras definitivo.
			Edificabilidad neta máxima sobre la superficie de la parcela: 0,6 m2st/m2s
			Ocupación máxima sobre superficie total de la parcela: 30%
			Altura máxima de la edificación: 6,50 m (PB+1P+desván)
			Se mantendrá el arbolado existente. Plantación de un árbol por cada 70 m2s o fracción.
			Los tratamientos del suelo serán permeables en su totalidad, excepto en cuanto al entorno de la edificación o a la piscina y los pasos para acceso de vehículos.
S	SH	Sistema Hidrográfico	Sistemas
			Los sistemas generales definen los elementos fundamentales de la estructura urbana y territorial
			Se incluyen los cauces de rieras y escorrentías, delimitadas como mínimo por la línea de cota de inundación de la avenida en el período de inundación de 10 años. En caso de que ésta no esté definida con presición, se delimita según criterios físicos (ámbito), topográficos (taludes y muros), o ambientales (vegetación de la ribera) y con una anchura mínima de 8 m.
			A ambos lados del elemento calificado como sistema hidráulico se delimita una zona de protección de la franja de servidumbre de 5 metros desde el margen, de acuerdo con la legislación sectorial vigente

S	SH	Sistema Hidrográfico	Las franjas de 100 metros de policía definidas por la legislación vigente, quedarán sometidas a las disposiciones legales de la mencionada ley en toda clase de suelos.
			En suelo urbanizable se establecerán las condiciones necesarias para que las edificaciones se sitúen en cotas tales que no se produzca la condición de inundación moderada con la avenida de 500 años de periodo de retorno, de acuerdo con las determi-naciones que establezca el administración hidráulica
			En suelo urbano, y siempre que no tengan suficiente espacio para garantizar las condiciones establecidas en el anterior punto, se canalizarán los arroyos, con sección suficiente para garantizar la avenida de 500 años de periodo de retorno, de acuerdo con las determinaciones que establezca la administración hidráulica.
			Se prohíbe específicamente interrumpir los torrentes o variar su dirección eliminando la vegetación y haciendo movimientos de tierras para ampliar los cultivos de alrededor
			Se prohíbe la eliminación de la vegetación de la red hidrográfica y el paso de caminos que discurran por su cauce y que alteren su capacidad de desagüe, a excepción de cuando lo determine la autoridad ambiental.
			Como criterio general, hay que evitar la impermeabilización de los cauces.
		Sistema de Espacios Libres y Zonas Verdes	Incluye los parques urbanos (SV1), las plazas (SV2), los jardines urbanos (SV3) y otras reservas de espacios libres para el recreo ocio y el deporte o para la protección de infraestructuras y servicios o equipamientos (SV4)
	SV	SV1 Parques Urbanos	Comprende suelos la mayoría de los cuales tienen características forestales y que se encuentran en contacto con la zona urbana o con el sistema hidráulico, o bien corresponden a recortes de masa forestal que ha quedado rodeada de trama urbana. Se trata de suelos urbanos o no urbanizables de gran dimensión y mayoritariamente en suelos de elevada pendiente, parte de los cuales se catalogan de hábitats de interés comunitario.
			Se prohíbe la eliminación de la vegetación de la red hidrográfica y el paso de caminos que discurran por su cauce y que alteren su capacidad de desagüe, a excepción de cuando lo determine la autoridad ambiental.
			Normalmente cuentan con un grado de utilización baja o nula, en tanto no reciban tratamientos para facilitar los itinerarios pea-tonales o la construcción de zonas de recreo o reposo. La función de estos suelos es fundamentalmente la de espacios de tran-sición que, por un lado, atenúen los impactos negativos que los espacios urbanos puedan exportar hacia los espacio forestales y, por otro, permitan gestionar con criterios de mejora de los hábitats y de integración paisajística estos espacios de transición.
		SV2 Plazas y SV3 Jardines Urbanos	Comprenden los suelos destinados a los espacios verdes, jardines o áreas pavimentadas, de superficie normalmente menor a la de los parques urbanos, con valor de referencia para el barrio o sector, que tienen como función principal el reposo, el recreo y la relación social entre los ciudadanos
		SV4 Otros Espacios Libres	Se incluyen en esta categoría las reservas para espacios libres que no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores, pero que deben mantenerse libres y ajardinados, de acuerdo con el correspondiente proyecto, cuya función puede estar relacionada con el ocio o el deporte, o que pueden tener una función meramente ornamental o visual, con valor paisajístico o de protección de infraestructuras, servicios o equipamientos.
	SE	Sistema de Equipamientos	Como criterio de sostenibilidad se recomienda la recogida de aguas pluviales en cisternas, balsas ó depósitos, por su aprove-chamiento posterior para riego

S	SE	Sistema de Equipamientos	Los jardines urbanos, plazas y paseos ordenarán prioritariamente con arbolado y jardinería. No se admiten edificaciones, exceptuando las instalaciones accesorias de servicio, juego o recreo, o de aparcamiento, que no sobrepasen el cinco por ciento (5%) de la superficie del jardín urbano, plaza o paseo en uso o funcionamiento en el momento de la construcción. El aparcamiento en superficie se urbanizará con pavimentos permeables y arbolado.
			El uso de aparcamiento en planta sótano sólo se admite cuando así esté expresamente previsto en el planeamiento general o derivado, o en el polígono de actuación urbanística; en este caso, la regulación será la siguiente:
			i) l aparcamiento no ocupará más que el porcentaje de la superficie total del jardín (SV3), del espacio libre (SV4) o de la plaza (SV2) que establezca el planeamiento urbanístico derivado, si éste fuera necesario ..
			ii) en terrenos con pendiente elevada, con recubrimiento arbóreo y / o adyacentes a la red hidrográfica, no se permitirán los usos de aparcamiento u otros indicados, para minimizar sus posibles efectos ambientales.
			Habrá que mantener, siempre que sea posible, la vegetación autóctona existente, salvo que se justifique lo contrario por motivos fitosanitarios o de prevención de riesgos, procurando minimizar los movimientos de tierras.
			Tanto el sistema de equipamiento público como el privado comprende los centros docentes, los equipamientos de carácter sanitario-asistencial, administrativo y de abastecimiento, cultural-social-religioso, deportivo, funerario y cementerio y demás equipamientos que sean de interés público o interés social. También incluye el subsistema de servicios técnicos y ambientales.
		SE1 Docente /educativo/	Habrá que mantener, siempre que sea posible, la vegetación autóctona existente, salvo que se justifique lo contrario por motivos fitosanitarios o de prevención de riesgos, procurando minimizar los movimientos de tierras.

BIBLIOGRAFÍA

(WWAP), P. M. de las N. U. de E. de los R. H. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua.

Agencia Catalana del Agua. Descarga cartográfica de Generalitat de Catalunya (2019). Àrees amb risc potencial significatiu d’inundació: Delimitacions ARPSI. <http://aca.gencat.cat/es/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>

Agencia Catalana del Agua. Descarga cartográfica de Generalitat de Catalunya (2019). Delimitacions administratives: <http://aca.gencat.cat/es/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>

Agencia Catalana del Agua. Descarga cartográfica de Generalitat de Catalunya (2019). Hidràulica – Zones inundables: zona inundables T-10 anys. <http://aca.gencat.cat/es/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>

Agencia Catalana del Agua. Descarga cartográfica de Generalitat de Catalunya (2019). Inundabilitat: zones potencialment inundables amb criteris geomorfològics. <http://aca.gencat.cat/es/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>

Agencia Catalana del Agua. Descarga cartográfica de Generalitat de Catalunya (2019). Llistat d’escorrentiu: Rieres del Maresme. <http://aca.gencat.cat/es/laigua/consulta-de-dades/descarrega-cartografica/>

APRI 2018- Annex 03 Anàlisi de les inundacions històriques. (n.d.).

Ballesteros, C., Jiménez, J. A., & Viavattene, C. (2018). A multi-component flood risk assessment in the Maresme coast (NW Mediterranean). Natural Hazards. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3042-9>

Balmforth, David; Digman, Christopher; Kellagher, Richard; Butler, D. (2006). Designing for exceedance in urban drainage- good practice. London: CIRIA Construction Industry Research and Information Association.

Bertule, U. P. M., Lloyd, G. J., Korsgaard, L., & Opperman, T. N. C. J. (n.d.). Green infrastructure Guide.

Blanca Arellano and Josep Roca “Multi-scale approach to quantify the influence of urban green spaces on urban climate”, Proc. SPIE 11127, Earth Observing Systems XXIV, 111272E (9 September 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2527958>

CLIM-CAP Competencies for sustainable city development: qualification scheme for climate adaptation in construction, architecture and planning, 2015
Project Number: 540313-LLP-1-2013-1-DE-LEONARDO-LMP. European Commission

Copernicus Land Monitoring Service. Imperviousness Density 2015 – 100m (2019) <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperiousness/status-maps/2015>

Coseo, P., & Larsen, L. (2015). Cooling the Heat Island in Compact Urban Environments: The Effectiveness of Chicago’s Green Alley Program. *Procedia Engineering*, 118, 691–710. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.504>

Dades bàsiques municipals i comarcals Maresme MUC Mapa urbanístic de Catalunya. (2019).

Departament de Territori i Sostenibilitat. Mapa urbanístic de Catalunya (MUC). Recuperado en Agosto de 2019, de Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat: http://territori.gencat.cat/es/06_territori_i_urbanisme/urbanisme/mapa_urbanistic_de_catalunya/

Diputació de Barcelona. Parcs de Catalunya Xarxa de parcs naturals. Recuperado en Septiembre de 2019 de <https://parcs.diba.cat/es/web/montnegre/geografia-fisica>

Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L. G., & Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45(8), 1890–1904. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.001>

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>

Geologia, F. De, Barcelona, U. De, & Impulsa, G. (2014). Les rierades al Maresme. *Atzavara*, L’, 23(0), 61–79.

Google Maps. Cabrils / riera de Cabrils. Recuperado en Febrero de 2020 de <https://www.google.com/maps/place/08348+Cabrils,+Barcelona/@41.5188791,2.3712159,1563m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x12a4b68fb5aa9f59:0xbe36ef9f8f518b41!8m2!3d41.5247306!4d2.3671032>

Google Maps. Vilassar de Mar / riera de Cabrils. Recuperado en Febrero de 2020 de <https://www.google.com/maps/place/Vilasar+de+Mar,+Barcelona/@41.5052232,2.3719046,4481m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x12a4b402930e9251:0x5e91756cabf96a79!8m2!3d41.5040814!4d2.3922562>

Green Blue Management S.L.U. (2018). Guía básica de diseño sistemas de gestión sostenible de aguas pluviales.pdf (p. 72). p. 72.

Gutiérrez Elorza, M. (2001). Geomorfología climática. Ediciones Omega.

IDEAM. Agua. Amenazas Inundación. Recuperado en Marzo 2020 de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>

IDESCAT. Anuari estadístic de Catalunya/Med ambient Territori/Territori. Recuperado en Abril 2019 de <https://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=201>

INUNCAT. Plan especial de Emergencias para Inundaciones de Cataluña 2017. Comissió de Protecció Civil. Recuperado en Marzo 2019 de https://interior.gencat.cat/web/.content/home/030_arees_dactuacio/proteccio_civil/plans_de_proteccio_civil/plans_de_proteccio_civil_a_catalunya/documents/inuncat.pdf

Kluck, J., Boogaard, F. C., Goedbloed, D., & Claassen, M. (2015). Storm Water Flooding Amsterdam, from a quick Scan analyses to an action plan. (November). Retrieved from http://www.tauw.com/fileadmin/downloads_com/publicaties_floris_boogaard/3098561_Storm_Water_Flooding_Amsterdam__from_a_quick_Scan_analyses_to_an_action.pdf

Lin, T.-P., Kluck, J., Boogaard, F., Chen, Y.-C., & Vojinovic, Z. (2017). High Resolution Decision Maps for Urban Planning: A Combined Analysis of Urban Flooding and Thermal Stress Potential In Asia and Europe. *MATEC Web of Conferences*, 103, 04012. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710304012>

Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., Gilabert, J., & Marcos, R. (2012). Treinta años de inundaciones en Cataluña: La importancia de lo cotidiano (p. 10). p. 10.

Llasat, M. C., Marcos, R., Marco, T., Gilabert, J., & Llasat-Botija, M. (n.d.). Trends in flash flood events versus convective precipitation in the Mediterranean region: The case of Catalonia.

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., ... Waterfield, T. (n.d.). Global warming of 1.5°C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, . Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_version_stand_alone_LR.pdf

Molina-Prieto, L. 2016. Resiliencia a inundaciones: nuevo paradigma para el diseño urbano. *Revista de Arquitectura*, 18(2), 82-94.

Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Recuperado en Octubre de 2019 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya i Programa de mesures 2016-2021. (2017).

Roca, Josep et al. La isla de calor urbana: Efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la región metropolitana de Barcelona. 2016, Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad. Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación.

Tojo, F. (1990). LA CIUDAD Y EL MEDIO NATURAL ® akal. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/84139383.pdf>

Turenscape. Floating Connection: The Harbin Cultural Center Wetland Park. Recuperado en Septiembre de 2019 de <https://www.turenscape.com/project/detail/4556.html>

UN-HABITAT. (2016). Urbanization and Development: Emerging Futures World Cities Report 2016. In International Journal. [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(03\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(03)00010-6)

Urban, N. (2017). PLA D ' ORDENACIÓ URBANÍSTICA MUNICIPAL Carreras Mayol- DNI.

Valley, C. (2010). LOW IMPACT DEVELOPMENT STORMWATER MANAGEMENT PLANNING AND DESIGN GUIDE.

Veelen, P. C. van. (2016). Adaptive planning for resilient coastal waterfronts Linking flood risk reduction with urban development in Rotterdam and New York City. Architecture and the Built environment.

VISOR DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MANUAL DE USUARIO. (n.d.). Retrieved from <http://www.lifeshara.com>

Woods, B., Hr, B., Kellagher, W. R., Wallingford, H. R., Black, M., Jefferies, V. C., ... Shaffer, A. P. (2007). Site handbook for the construction of SUDS. Retrieved from www.ciria.org

World Wildlife Fund. (2016). Management : A Green Guide.